

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**PROYECTO FIN DE CARRERA  
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**DISEÑO Y CÁLCULO DEL TRATAMIENTO  
SECUNDARIO MEDIANTE AIREACIÓN PROLONGADA  
DE UNA EDARU**

**AUTOR: CARLOS PÉREZ PARDO**

**TUTOR: ANTONIO AZNAR JIMÉNEZ**

**JULIO 2012**



1.	Introducción:	3
1.1.	Características físicas:	6
1.2	Características Químicas:	8
1.3	Medidas del contenido orgánico:	11
2.	Fundamentos en la depuración del Agua:	16
A.	Recogida y conducción	17
B.	Tratamiento:	17
C.	Evacuación:	18
2.1	Pretratamiento	19
2.2	Tratamiento Primario	22
3.	Tratamiento Secundario	23
3.1	Introducción	23
3.2	Fundamentos de la oxidación biológica	23
3.3	Especies presentes en las aguas residuales	24
3.4	Microbiología del proceso	27
3.5	Clasificación de las especies en el tratamiento biológico	32
3.6	Factores que influyen en la oxidación biológica	33
3.7	Tipos de tratamiento secundario:	35
3.8	Fangos Activados:	39
4.	Dimensionamiento del tratamiento secundario	45
4.1	Población de diseño	45
4.2	Caudales	45
4.3	Contaminantes	47
4.4	Línea de Agua	48
4.5	Datos de partida	49
4.6	Instalación y Tratamiento adoptado	50
4.7	Parámetros tratamiento biológico	51
4.8	Diseño de la decantación secundaria	69
4.9	Fangos recirculados	72
5	Problemas en una instalación de fangos activados	73
5.1	Problemas en el sistema de aireación	73
5.2	Foaming o problemas con espumas	74



5.3	Arrastre de sólidos .....	77
5.4	Bulking o abultamiento .....	77
5.5	Turbidez en el efluente secundario.....	78
5.6	Ashing o problemas de cenizas .....	79
6	Mantenimiento del tratamiento secundario .....	80
6.1	Mantenimiento de tuberías .....	80
6.2	Mantenimiento en la cuba de aireación .....	80
6.3	Mantenimiento de Bombas .....	81
6.4	Decantador Secundario.....	81
6.5	Operaciones Generales .....	82
6.6	Personal de mantenimiento asociado y funciones .....	82
7	Riesgos laborales en el tratamiento secundario .....	84
7.1	Riesgos de carácter biológico.....	84
7.2	Riesgos específicos en las instalaciones.....	87
7.3	Equipos de protección individual necesarios.....	90
8.	Bibliografía .....	91

## **1. Introducción:**

El conjunto de actividades humanas genera de forma constante e inevitable residuos, entre éstos agua. Estas actividades parten de un efluente base que se va contaminando a medida que se va empleando (en una industria, a nivel doméstico, agricultura...) y por ello se altera su potencial uso posterior.

La consecuencia de no tratar estas aguas es provocar una contaminación allí donde se realice su vertido, pudiendo llegar a ocasionar daños irreparables. Por un lado si el agua no se trata la descomposición de la materia orgánica produce gases tóxicos y peligros. Por otro lado se generan organismos causantes de múltiples enfermedades humanas y animales y se estimula el crecimiento de plantas acuáticas no deseables. Por ello la sociedad ha de responder de una forma sencilla y rápida a la necesidad de tratar y gestionar el agua residual.

El tratamiento de las aguas de carácter residual, éstas se someten a un conjunto de procesos biológicos, químicos y físicos cuyo principal objetivo es reducir la concentración de los contaminantes y así asegurar un menor impacto a la hora del vertido.

Las aguas residuales se pueden clasificar principalmente según 3 tipos tal como define el Título V de la Ley 29/1985:

- Aguas residuales urbanas: Las aguas residuales domésticas o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.
- Aguas residuales domésticas: Las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.
- Aguas residuales industriales: las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

Las calidad de las aguas residuales domésticas son casi constantes, independientemente de la población que las origine, mientras que el aporte de aguas residuales industriales dependerá en gran medida del nivel de industrialización de la población. Las aguas de escorrentía pluvial son de vital importancia a la hora del cálculo de caudales sobre todo en poblaciones con alta densidad de lluvia, terreno propicio y con redes de saneamiento unitarias.



Tabla 1: Sistema de Saneamiento global (Consorcio de aguas)



## Consideraciones Iniciales

### Procedencia del agua:

La procedencia de los contaminantes presentes en las aguas residuales urbanas es variada:

- a. Aguas Residuales Domésticas:
  - i. Aguas negras (procedentes del metabolismo humano): sólidos, sales, materia orgánica
  - ii. Aguas de cocina: sólidos, materia orgánica, grasas y aceites.
  - iii. Agua de baño: Agentes tensoactivos y contaminantes emergentes.
  - iv. Aguas de lavadora: detergentes, nutrientes.
- b. Aguas de escorrentía: Se trata de agua de lluvia mayoritariamente recogida por el sistema de alcantarillado municipal. Éstas aguas arrastran múltiples contaminantes debido al tránsito por las canalizaciones, la contaminación atmosférica y la polución de los edificios y vías, pero concentrados preferentemente en los primeros momentos de llegada de las aguas de lluvia a la estación depuradora.
- c. Aguas residuales industriales: Procedentes de procesos industriales que descargan en la red de alcantarillado municipal.

### Caudal de Agua

El conocimiento del caudal del efluente es un parámetro de vital importancia en el diseño de una estación de aguas residuales, así como su composición residual. De ahí que en la fase de diseño se haya de tener en cuenta el conjunto de variaciones de caudal que se pueden producir.

En el caso del agua residual urbana éste será directamente proporcional al desarrollo económico y social de la población en concreto. Los factores a analizar serán la pluviometría, el consumo de agua de abastecimiento, las pérdidas de la red de alcantarillado y el empleo de agua para riego y otras actividades.

A continuación se indica la a dotación de abastecimiento de agua en función de la población servida señalando la que usaremos en nuestro diseño:

Población (habitantes)	Consumos urbanos en l/hab.d, según usos				
	Doméstico	Industrial	Servicios municipales	Fugas de redes y varios	TOTAL
Hasta 1.000	60	5	10	25	100
1.000 – 6.000	70	30	25	25	150
6.000 – 12.000	90	50	35	25	200
12.000 – 50.000	110	70	45	25	250
50.000 – 250.000	125	100	50	25	300
Más de 250.000	165	150	60	25	400

Tabla 2: Dotación de abastecimiento. (Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales)

Tres cuartas partes del agua de abastecimiento se convierte en agua de carácter residual, teniendo en cuenta fugas, consumo por riegos y otras actividades.

El consumo de agua varía según cultura, según actividades, según estación hora y día de la semana. Es por ello que generalmente se tiene en cuenta el caudal punta, que suele ocurrir a media mañana y a última hora de la tarde.

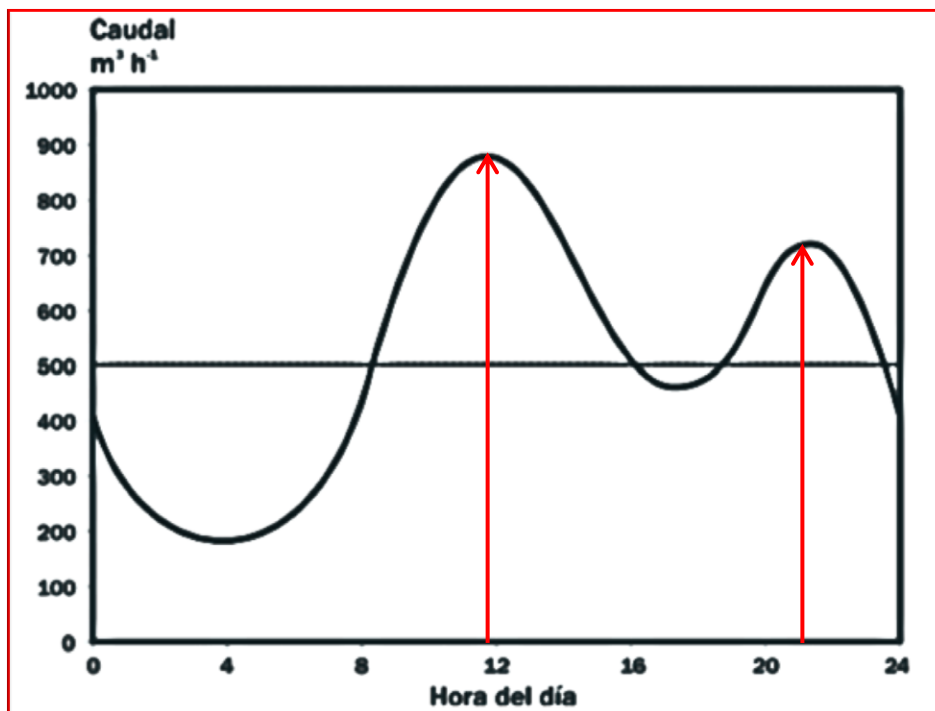


Tabla 3: Evolución diaria del caudal. (Manual de depuración de aguas residuales urbanas)

## Caracterización de las aguas:

### **1.1. Características físicas:**

- Sólidos Totales:

Materia obtenida tras someter al agua a un proceso de evaporación cuyas temperaturas están comprendidas en el rango de 103-105°C. Del conjunto de sólidos en la depuración interesan los sedimentables pues son válidos para hacer una primera aproximación de la cantidad de fango obtenida en la decantación primaria. Estos sólidos se definen como aquellos que se depositan en el fondo del denominado cono de Imhoff en el transcurso de 60 minutos (UNE 77032 (2002)).



Figura 4: Fotografía del cono de Imhoff

Por otro lado la clasificación de sólidos se puede realizar atendiendo a su capacidad de filtración en filtrables o no filtrables usando como estándar material filtrante del tamaño de 0,45 micras (UNE 77031:2002).

- Color

En muchos casos ayuda a determinar la edad del agua. El color final más oscuro se debe a la tratada. Al principio presenta un color grisáceo y conforme avanza el tiempo adopta un color cada vez más oscuro por la formación sobre la superficie de sulfuros metálicos, al liberarse éste en condiciones anaerobias. (UNE-EN ISO 7887:1995)



Figura 5: Evolución del color durante los distintos tratamientos.

- Temperatura

Se trata de un parámetro crítico en el tratamiento de aguas residuales. Por lo general la temperatura del agua residual tiene una temperatura superior a la del agua de suministro debido al agua caliente procedente de los hogares y procesos industriales. En función de la distribución geográfica la temperatura del agua residual oscila entre los 10 y los 21°C. Ello condicionará en mucha medida los tratamientos a seguir. Es por ello que ciertos tratamientos de lagunaje adoptados en zonas del norte y centro Europa aquí son impensables, dado que las temperaturas son demasiado altas.

Por otro lado el oxígeno es menos soluble conforme aumenta la temperatura, por lo que se condiciona en gran medida el aporte posterior de  $O_2$ . Además una temperatura elevada puede provocar la aparición de algas y hongos no deseables que incrementan todavía más la demanda de oxígeno.

La temperatura óptima de trabajo para el proceso biológico se sitúa entre los 25 y los 35 °C.

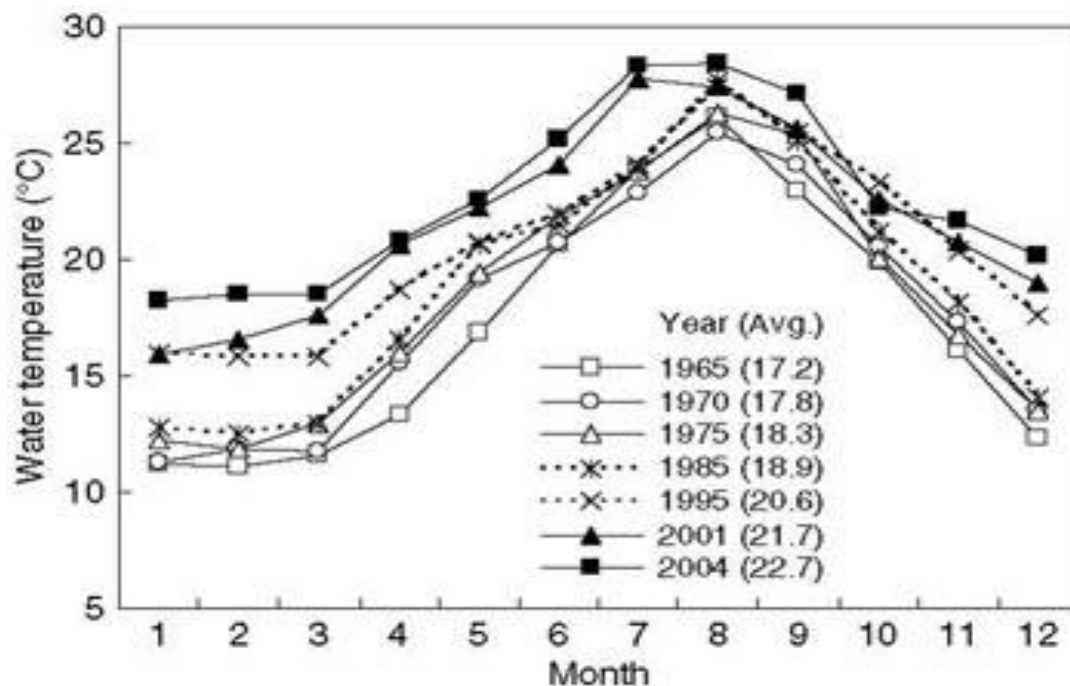


Figura 6: Evolución de la temperatura de las aguas residuales a lo largo de un período fijo. (USA environmental protection agency)





## **1.2 Características Químicas:**

### **Materia Orgánica:**

La materia orgánica procede en gran medida de la vida animal y vegetal que entra en contacto en el efluente, así como aquellas actividades humanas que producen compuestos de carácter orgánico.

Aproximadamente el 75% de los sólidos en suspensión y el 40% de los filtrables son de carácter orgánico. Se trata de elementos fundamentalmente formados por combinaciones de N, O, C e H.

La distribución de materia orgánica es la siguiente:

- Proteínas (40-60%)
- Grasas y compuestos oleosos (10%)
- Hidratos de Carbono (20-45%)
- Moléculas sintéticas (Agentes tensoactivos, contaminantes prioritarios, COV's y pesticidas.

#### **Proteínas:**

Se trata del componente mayoritario en los animales, mientras que su presencia es algo menor en el caso de las especies vegetales. Las proteínas son uno de los principales causantes de malos olores en las aguas debido a su proceso de descomposición anaerobia. Este proceso da lugar a aminas, tiocompuestos, aldehídos, ácidos y otros compuestos de oxidación intermedios. Cabe destacar que pueden llegar a tener una cantidad de hasta un 16% en Nitrógeno, convirtiéndose en una de las fuentes básicas junto con la urea de N en las aguas residuales.

#### **Grasas y compuestos oleosos:**

Los glicéridos de ácidos de larga cadena se pueden clasificar en aceites o grasas en función de su estado de agregación a temperatura ambiente. Así denominaremos aceites a aquellos que se encuentren en estado líquido y grasas en estado sólido. La descomposición bacteriana de las grasas es compleja, y se realiza mediante la adición de ácidos minerales, que atacan las grasas. Posteriormente con ciertas sustancias alcalinas se libera glicerina dando lugar a sales alcalinas y ácidos grasos. Las sales alcalinas se conocen como jabones y éstos son solubles en agua.

Por otro lado los compuestos derivados del petróleo, procedentes de garajes, talleres y hogares, pueden interferir gravemente en el tratamiento biológico impidiendo la penetración del agua y creando películas superficiales.

### Hidratos de carbono:

Se trata de otro de los elementos principales del agua residual con azúcares y la celulosa. Se trata de combinaciones de H, O y C. La capacidad de descomposición depende del tipo de hidrato; mientras que los azúcares tienen una fácil descomposición, los almidones son más estables y necesitan de cierta actividad bacteriana para ser procesados.

Por lo general la celulosa es el hidrato de carbono mayoritario y su tratamiento es sencillo mediante la adición de ciertos hongos, funcionando mejor éstos en medios ácidos.

### Agentes tensoactivos:

Se trata de moléculas de gran tamaño causantes de la formación de espumas en las plantas de tratamiento y en las superficies de los receptores del efluente residual. La determinación de la presencia de elementos tensoactivos se realiza mediante el cambio de color de una muestra normalizada de azul de metileno. Antiguamente (hasta 1965) los detergentes sintéticos presentaban agentes tipo ABS que presentaban bastante dificultad a ser descompuestos por procesos biológicos, por lo que posteriormente se sustituyeron por otros cuya descomposición fuera más sencilla. Durante el proceso de aireación del agua residual, estos agentes se concentran en la superficie de las burbujas de aire, formando espuma.



Figura 7: Espuma presente en aguas residuales.



### Contaminantes prioritarios:

Se denominan así dado que tienen efectos relacionados con procesos cancerígenos, elevada toxicidad, mutaciones y demás efectos adversos. En general se presentan dos tipos de medidas frente a éstos:

- a) Limitación por categorías: Existen 129 contaminantes prioritarios clasificados en 25 categorías según la EPA (Environmental Protection Agency). Entre éstos se encuentra el Benceno, el Mercurio, el Plomo, la Plata, cada uno clasificado con sus efectos.
- b) Limitación por vertidos prohibidos: Todo efluente que llega a una EDAR tiene que mantener una serie de requisitos tales como:
  - I. Evitar contaminantes corrosivos ( $\text{pH} < 5$ )
  - II. Evitar contaminantes con riesgos de inflamación o explosión.
  - III. Evitar efluentes que puedan elevar demasiado la temperatura del agua que llega a la EDAR.

COV's (Compuestos orgánicos volátiles): Su característica principal es que tienen un punto de ebullición por debajo de 100 grados centígrados.

En los tratamientos de aguas residuales son importantes porque:

- Si se liberan a la atmósfera pueden suponer riesgos para la salud pública, especialmente para los trabajadores de la planta y zonas colindantes.
- Dan lugar a la formación de oxidantes fotoquímicos.

### Pesticidas y productos de uso agrícola:

Los pesticidas, herbicidas y demás productos agrícolas son en su mayoría altamente tóxicos, por lo que tiene que existir un control exhaustivo sobre ellos. Por lo general no aparecen en las aguas residuales urbanas, salvo por aportaciones de escorrentía transportando mayoritariamente contaminantes primarios.

Su efecto suele ser la muerte de fauna en ríos y efluentes, así como la necesidad de tratamientos posteriores adicionales para la eliminación de tóxicos.

### **1.3 Medidas del contenido orgánico:**

#### **Demanda biológica de oxígeno (DBO):**

Se realiza siguiendo la norma UNE 77-003-89. Se trata de la cantidad necesaria de oxígeno para degradar una muestra mediante procesos estrictamente biológicos. Normalmente se emplea  $DBO_5$ , es decir durante 5 días. La demanda de oxígeno depende fundamentalmente de tres tipos de componentes:

- I. Materiales Orgánicos Carbónicos: Nutrientes de los organismos que participan en los procesos aerobios. (Parámetro fundamental en las aguas residuales urbanas)
- II. Compuestos Químicos Reductores
- III. Nitrógeno oxidable

La DBO se emplea fundamentalmente para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente en el agua a tratar, así como para dimensionar la planta y sus instalaciones. Por otro lado la DBO puede dar una idea del rendimiento conseguido y ayuda al control y mantenimiento según unos parámetros exigidos para el tratamiento del agua.

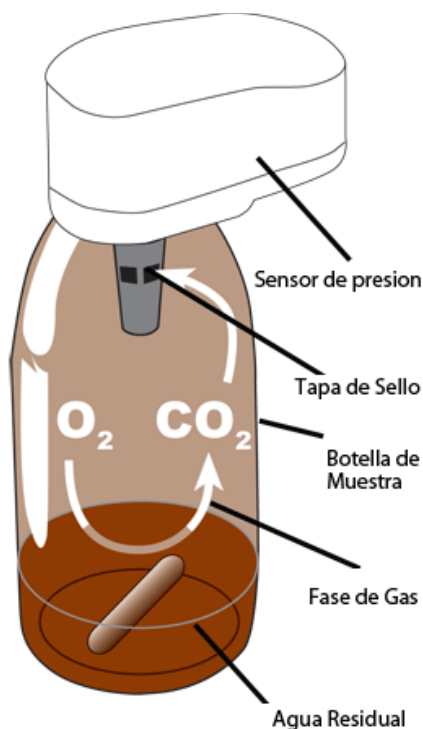


Figura 8: Equipo medición DBO (Fuente: Aguas Colombia )



Demanda química de oxígeno (DQO):

Se realiza mediante la norma UNE 77-004-89. Es un parámetro que mide el volumen de sustancias que pueden ser oxidadas químicamente en una muestra líquida. Aunque se emplea para medir contenido orgánico hay que tener en cuenta que algunos componentes inorgánicos son también susceptibles de ser oxidados.

En ocasiones se puede emplear un catalizador para favorecer el proceso de oxidación. Por lo general la DQO es superior a la DBO, ya que por vía química se oxidan más componentes que por vía biológica. El proceso de obtención de la medida dura aproximadamente 3 horas, mucho menos en comparación con el tiempo de obtención de la DBO.

La relación entre la DBO y la DQO ofrece una idea de la biodegradabilidad del agua:

$$\frac{DBO_5}{DQO} \geq 0,4 \rightarrow \text{Agua residual de alta biodegradabilidad}$$

$$\frac{DBO_5}{DQO} 0,2 - 0,4 \rightarrow \text{Agua residual biodegradable}$$

$$\frac{DBO_5}{DQO} \leq 0,2 \rightarrow \text{Agua residual poco biodegradable}$$

Carbono orgánico total (COT):

Esta medida calcula la cantidad de carbono presente en una muestra orgánica. Se emplea normalmente en mezclas con poca concentración de materia orgánica, midiendo la cantidad de  $CO_2$  que se libera al oxidarse ésta.



### **Materia Inorgánica:**

En el presente documento la aportación de materia inorgánica tiene menor relevancia que la orgánica, debido a que trataremos aguas residuales urbanas. En cualquier caso es necesaria una pequeña descripción de la materia inorgánica presente en el agua.

### **pH**

La concentración de hidrógeno es un parámetro importantísimo a la hora de determinar el crecimiento biológico y la calidad de las aguas residuales a tratar. Como se comentó anteriormente el rango de pH del efluente está reglado y un desajuste de éste puede causar problemas en la naturaleza del agua de la zona receptora, inhibiendo la biodegradabilidad.

### **Nitrógeno:**

Se trata de uno de los nutrientes básicos para el desarrollo de la actividad biológica. En ocasiones cuando la concentración de nitrógeno presenta un déficit se añade éste al agua residual para mejorar su tratamiento. También si hubiera exceso sería necesario controlarlo puesto que puede dar lugar al crecimiento de ciertas algas y organismos no deseables.

El nitrógeno se presenta fundamentalmente en forma orgánica, nitratos, nitritos y amoniacal. En el caso de las aguas residuales suele presentarse en forma de Urea y proteínas que forman  $NH_3$ , descomponiéndose en nitritos y nitratos ( $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ )

### **Alcalinidad:**

El nivel de alcalinidad está determinado por la concentración de bicarbonatos, hidróxidos y carbonatos. Por lo general los más comunes son los de Calcio y los de Magnesio.

Un agua adquiere alcalinidad gracias a la adición de aguas de origen subterráneo y a la contribución de ciertos componentes de uso doméstico. Este parámetro es importante en el tratamiento biológico, para la adecuación de nutrientes y la eliminación del  $NH_3$ .



### **Fósforo:**

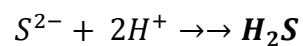
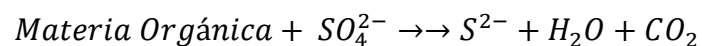
Junto con el nitrógeno se trata de otros de los nutrientes básicos para el crecimiento biológico. Es un parámetro a controlar dado que demasiado fósforo puede provocar el crecimiento inadecuado de algas y otros elementos no deseables. La proporción de Fósforo oscila entre 15 y 20 mg/l.



Figura 9: Crecimiento masivo de algas por exceso de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno.

### **Azufre:**

El ión sulfato está presente en todo tipo de aguas, y su presencia es necesaria para el procesado proteico liberándose azufre posteriormente en forma de Sulfuro. La evolución es la siguiente:



Los sulfatos se pueden llegar a transformar a sulfuros en los digestores aerobios durante el tratamiento biológico. Ello ocurre si su concentración es suficientemente elevada (>200mg/l), lo cual no es lo habitual. Asimismo los gases que se desprenden son corrosivos y ha de tenerse en cuenta en la planificación de equipos de planta.



**Cuadro resumen características típicas del  $H_2O$**

Parámetro	Rango habitual
Sólidos en Suspensión (mg/l)	150 – 300
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	200 – 300
DQO (mg/l)	300 – 600
Nitrógeno (mg N/l)	50 – 75
Fósforo (mg P/l)	15 – 20
Grasas (mg/l)	50 – 100
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	$10^6$ – $10^7$

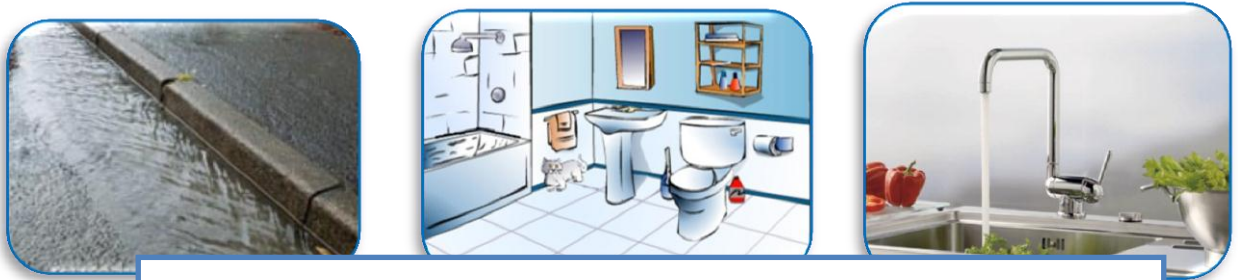
Figura 10: Valores típicos del Agua residual urbana. (Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales)



## **2. Fundamentos de la depuración del Agua:**

Básicamente la depuración de agua consta de tres fases principales:

- A. Recogida y conducción
- B. Tratamiento
- C. Evacuación.



**Recogida y conducción: El agua se transporte por el sistema de alcantarillado y tuberías hasta la EDAR.**



**Tratamiento de Lodos**



**Zona de Tratamiento de Aguas Residuales en la estación**



**Zona de Evacuación de aguas ya depuradas.**

### A. Recoqida y conducción

Esta fase comprende la generación y el transporte del agua residual hasta la estación depuradora, a través del sistema de alcantarillado y tuberías. Por lo general se emplea la gravedad como fuerza impulsora, aunque puede ser necesario el bombeo en ciertos lugares.

De forma mayoritaria las redes son unitarias, es decir, se recogen tanto aguas residuales urbanas como aguas de lluvia en la misma red y en algunos casos incluso industriales.

Debido al dimensionamiento máximo de la estación, ésta cuenta con aliviaderos por si el caudal sobrepasa el máximo soportado.

Asimismo se cuenta con un bypass a la entrada de la depuradora y otro tras cada etapa de depuración. Ello es para proceder al vertido de las etapas anteriores sin pasar por la siguiente en caso de algún fallo o incidente. Tanto el bypass general, como los intermedios y los efluentes depurados convergen en la misma línea.

### B. Tratamiento:

Dentro del tratamiento, el agua sufre una serie de operaciones físico-químicas cuyo objetivo es la eliminación de contaminantes, para que cuando se vierta finalmente no tenga consecuencias negativas. Los tratamientos se dividen en 2 líneas claramente diferenciadas:

- Línea de agua:** incluye los procesos o tratamientos que permiten reducir los contaminantes presentes en las aguas residuales.
- Línea de lodos:** en ella se tratan los subproductos de la línea de agua.



Figura 11. Procesos en la línea de Agua. (Manual de depuración de aguas residuales urbanas)

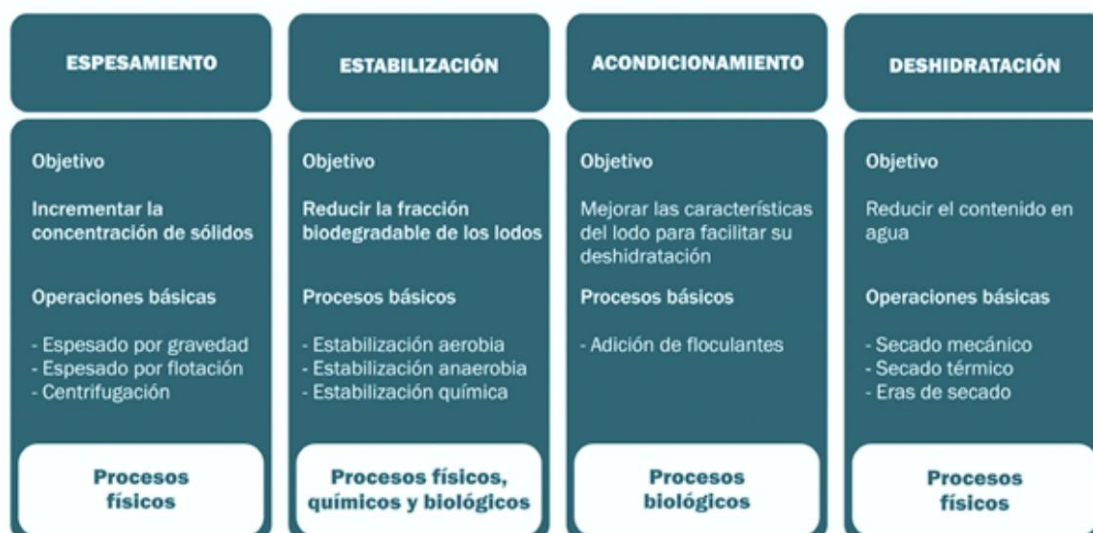


Figura 12. Procesos en la línea de fangos. (Manual de depuración de aguas residuales urbanas)

### C. Evacuación

Se trata de la etapa final en un programa de depuración residual. El efluente depurado, cumpliendo los requisitos demandados legalmente, es vertido a los cauces próximos a la EDARU.

Alternativamente esta agua puede ser aprovechada directamente o después de tratamientos complementarios para uso agrícola, recarga de acuíferos, usos industriales o recreativos. En estos casos existe una regulación específica al respecto estableciendo calidades del agua depurada y asignando sus usos.

Por otro lado los lodos, se descargan en vertederos, se incineran o bien se emplean como compost.

El presente proyecto desarrollará al detalle el tratamiento secundario, pero para contextualizarlo se hará un breve resumen de los dos tratamientos que lo preceden. El objetivo es conocer aproximadamente en qué condiciones llega el agua al tratamiento secundario.

## **2.1 Pretratamiento:**

En esta fase se realiza una serie de tratamientos físicos para acondicionar el agua que será tratada en las siguientes fases. Fundamentalmente su objetivo es eliminar sólidos de gran tamaño y grasas o aceites que pudieran interferir.

### **1. Aliviadero:**

Este elemento se construye como medida de prevención ante el crecimiento del caudal del efluente. Si se supera el caudal máximo soportado (generalmente por lluvias) parte de esa agua se deriva al aliviadero.



Figura 13 Aliviadero.



Figura 14. Agua desviada hacia el aliviadero mediante un bypass.



## 2. Pozo de gruesos

Se emplea cuando el caudal del efluente transporta abundantes arenas y sólidos de gran tamaño. Se trata del primer elemento de separación que se emplea en la recepción del agua.



Figura 15. Pozo de gruesos (aguapedia).

## 3. Desbaste de gruesos y finos.

El principal objetivo de este proceso es separar sólidos de gran tamaño que se encuentran en suspensión. Fundamentalmente se trata de plásticos, ramas, papeles y animales. La reja de finos tiene el mismo propósito para tamaños algo menores.

Ello se consigue mediante rejas de distintos grosores, inclinaciones y separación según el tipo de desbaste.

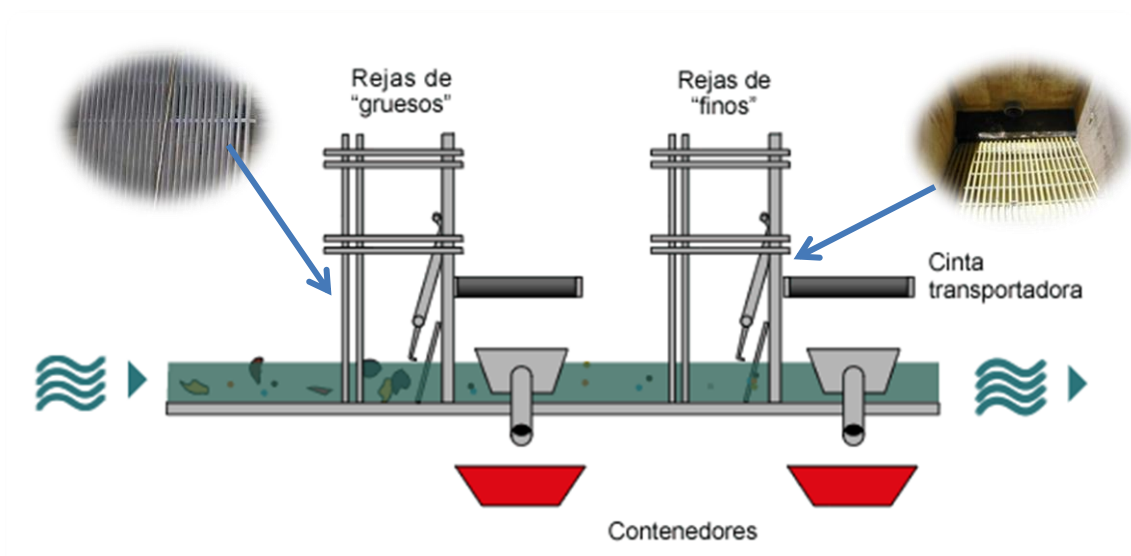


Figura 16. Desbaste de gruesos y finos (Consortio de aguas)

#### 4. Tamizado:

Se trata de eliminar las partículas de menor tamaño mediante una malla fina, cuya abertura oscila entre 1 y 6 mm. Existen 3 tipos: los estáticos los rotativos y los de escalera móvil. Mientras que los estáticos requieren de limpieza 1 ó 2 veces al día con agua caliente a presión así como con algún agente que elimine el exceso de grasa acumulado, los rotativos pueden trabajar en continuo sin apenas mantenimiento.



Figura 17. Tamiz rotativo (agua market)

#### 5. Desarenado y desengrasado

Por lo general ambas etapas suelen ir juntas, siempre y cuando no se necesite un rendimiento muy elevado en la eliminación de grasas.

Por un lado el desarenado elimina partículas más pesadas que el agua que no han sido captadas por el desbaste o el tamizado. Su objetivo principal es proteger el conjunto de equipos frente al efecto abrasivo de las arenas.

En el desengrasado se eliminan grasas, compuestos oleosos, objetos flotantes y espumas. Es una operación importante que sirve para prevenir entre otras cosas la aparición de organismos filamentosos en el tratamiento biológico. (**Prevención de Bulking**)

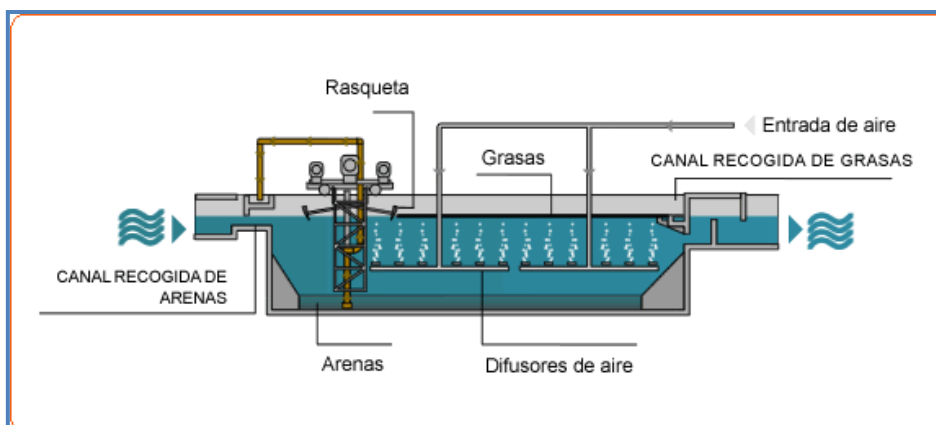


Figura 18. Desarenado-Desengrasado (Consortio de Aguas)

## **2.2 Tratamiento Primario:**

En esta etapa se pretende eliminar sólidos en suspensión mediante gravedad. Se trata de un proceso de decantación en el cual se consiguen unos rendimientos de sólidos en suspensión entre el 40 y el 70% y  $DBO_5$  del 25-40%.

Principalmente se llevan a cabo 2 acciones:

- Por un lado se produce la decantación primaria, reduciendo el número de sólidos que llegan al tratamiento secundario y por tanto la necesidad de nutrientes.
- Por otro lado se bombean los fangos producidos hasta un espesador, donde posteriormente se tratarán.

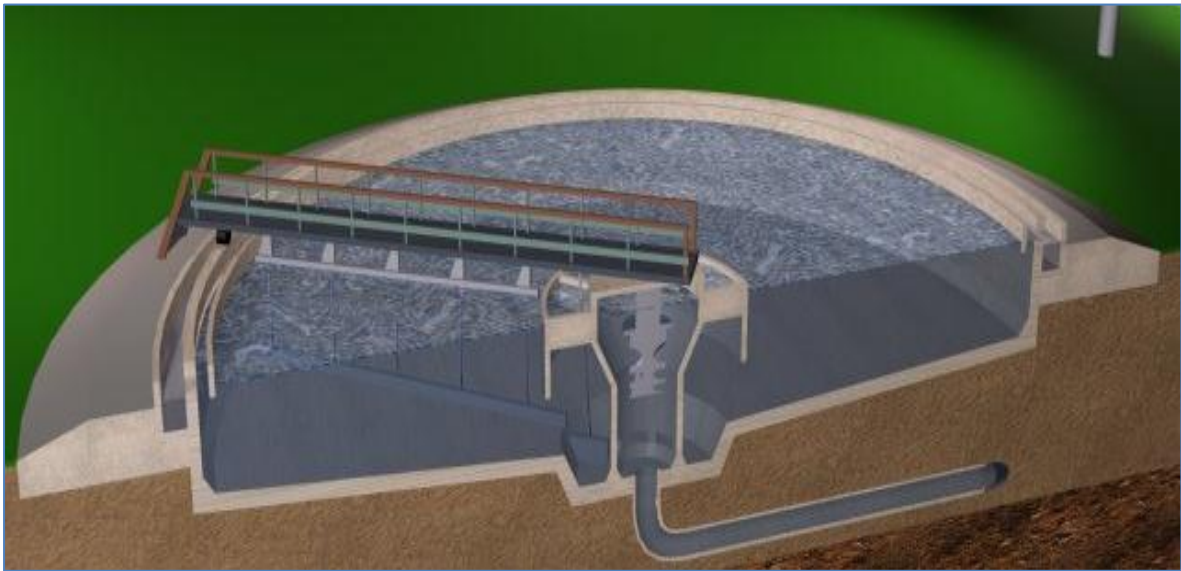


Figura 19. Sección 3D Decantador primario (José Luis Estévez)



Figura 20. Bombeo de fangos primarios ( aguapedia)



### **3. Tratamiento Secundario:**

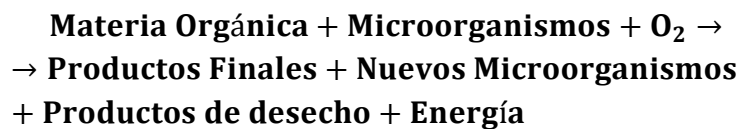
#### **3.1 Introducción:**

El tratamiento secundario o tratamiento biológico se emplea para eliminar la contaminación orgánica disuelta. El decreto ley 11/95 lo define como “tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso”.

El tratamiento biológico se realiza mediante microorganismos, que en condiciones aerobias atacan la materia orgánica presente en las aguas residuales transformándola en gases y materia celular, que posteriormente se separan por decantación.

#### **3.2 Fundamentos de la oxidación biológica:**

El mecanismo de oxidación biológica se encarga de degradar la materia orgánica presente en el agua residual de la siguiente forma:



Ello se produce fundamentalmente por 2 tipos de reacciones, las de síntesis o asimilación y las de respiración endógena u oxidación.

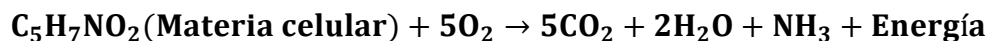
##### **A. Reacciones de Síntesis**

Se tratan de aquellas en que el alimento se incorpora al interior de los microorganismos. De esta forma la reproducción de estos mecanismos es posible de forma rápida. El proceso se rige por:



##### **B. Reacciones de Oxidación y Respiración endógena:**

En estas reacciones se obtiene energía transformando la materia orgánica asimilada y aquella acumulada en gases, agua y nuevos productos.





### **3.3 Especies presentes en las aguas residuales:**

#### ***Bacterias:***

Componen en torno al 95% de la biomasa. Junto con las algas y los protozoos forman el grupo de microorganismos protistas. Las bacterias se pueden clasificar en cuatro grupos atendiendo a su forma.

1. Esferoidales: Llamadas cocos, tienen un diámetro de entre 1 y 3 micras.
2. Bastones o cilíndricos: Llamados bacilos, tienen entre 1,5 y 2 micras de ancho y entre 1 y 10 de largo.
3. Espirales: Tienen una media de 50 micras de largo pudiendo ser en algunos casos de hasta 100 micras.

El papel que desempeñan las bacterias en el tratamiento secundario es vital. Se encargan de los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica. Por ello es necesario conocer el funcionamiento y las características principales de los diferentes tipos que existen.

Las condiciones del agua a tratar, como la temperatura o el pH, son factores clave en el crecimiento, desarrollo y supervivencia bacteriana.

Una de las bacterias con mayor presencia en el agua a tratar es la Escherichia Coli, procedente de la materia fecal animal y humana, y que mediante el proceso de fangos activos es eliminada del agua a tratada.

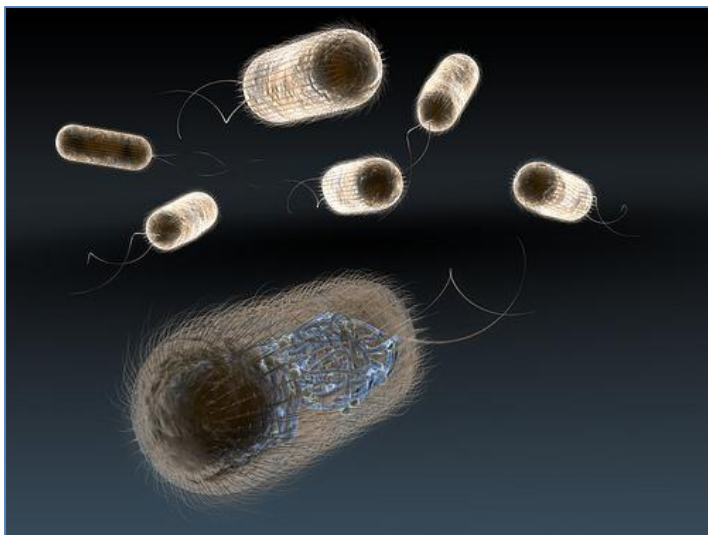


Figura 21. Escherichia Coli (E.Coli).

### **Protozoos:**

Son organismos unicelulares, entre éstos las amebas, los flagelados y los ciliados de tipo libre y fijo. Los protozoos son mayoritariamente aerobios. Se alimentan fundamentalmente de bacterias y de otros microorganismos, y forman parte fundamental del tratamiento biológico. Por otro lado algunos protozoos son patógenos como el caso de la giardia lamblia o el cryptosporidium.



Figura 22. Lamblia.

### **Hongos:**

Se denominan hongos o Fungi a una serie de organismos eucariotas aeróbicos, multicelulares, quimioheterótrofos y que al carecer de clorofila no pueden realizar la fotosíntesis. Los saprófitos son aquellos que intervendrán en el tratamiento secundario, ya que se alimentan de materia orgánica muerta. En comparativa con las bacterias, las condiciones de desarrollo de los hongos son algo más ventajosas, dado que pueden crecer en zonas de baja humedad y pH bajos.

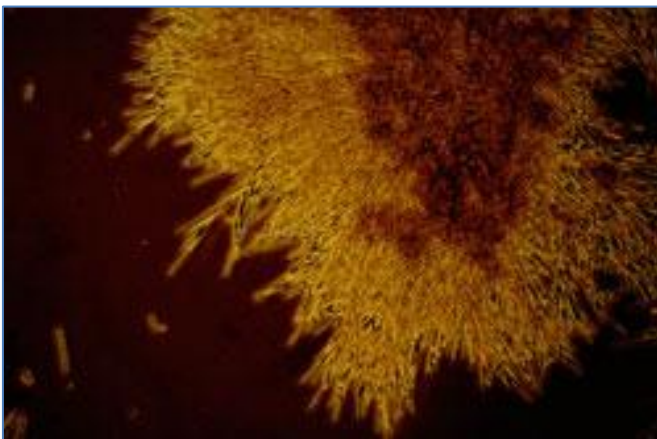


Figura 23. Hongo presente en agua residual.

### ***Algas:***

Suelen ser causante de problemas en las instalaciones dado que pueden crecer de una forma extremadamente rápida. En caso de que el efluente depurado finalice en un río el nivel de algas ha de ser controlado para evitar problemas de eutrofización. Éste fenómeno se produce al morir las algas, dado que éstas se depositan en grandes cantidades en el fondo, donde se descomponen anaeróbicamente produciendo la desaparición de la vida aerobia de las aguas.



Figura 24. Eutrofización provocada por algas en una laguna.

### ***Virus:***

Se trata de partículas parasitarias formadas por un cordón genético recubierto con una película proteínica. En el caso de las aguas residuales es extremadamente importante conocer qué virus están presentes y los tratamientos para eliminarlos. Algunos de estos virus son el de la Hepatitis A o la polio. Pueden llegar a sobrevivir 2 meses a la temperatura a la que se encuentra el agua residual.

### ***Plantas y pequeños animales***

Abarcan desde gusanos y rotíferos hasta algunos animales de mayor tamaño como crustáceos. Por lo general sirven como medida de efectividad en la eliminación de materia orgánica.

### **3.4 Microbiología del proceso:**

#### **1. Evolución de un sistema acuático aerobio**

En el momento en que se vierte contenido biodegradable en una masa de agua saturada en oxígeno, a medida que transcurre el tiempo y nos alejamos del punto de vertido el contenido en oxígeno disminuye hasta estabilizarse. Posteriormente recupera su valor inicial. Esto es debido a:

- a) Consumo de oxígeno: el metabolismo aerobio de las especies heterótrofas existentes, que se alimentan de materia orgánica.
- b) Solubilización del oxígeno atmosférico.

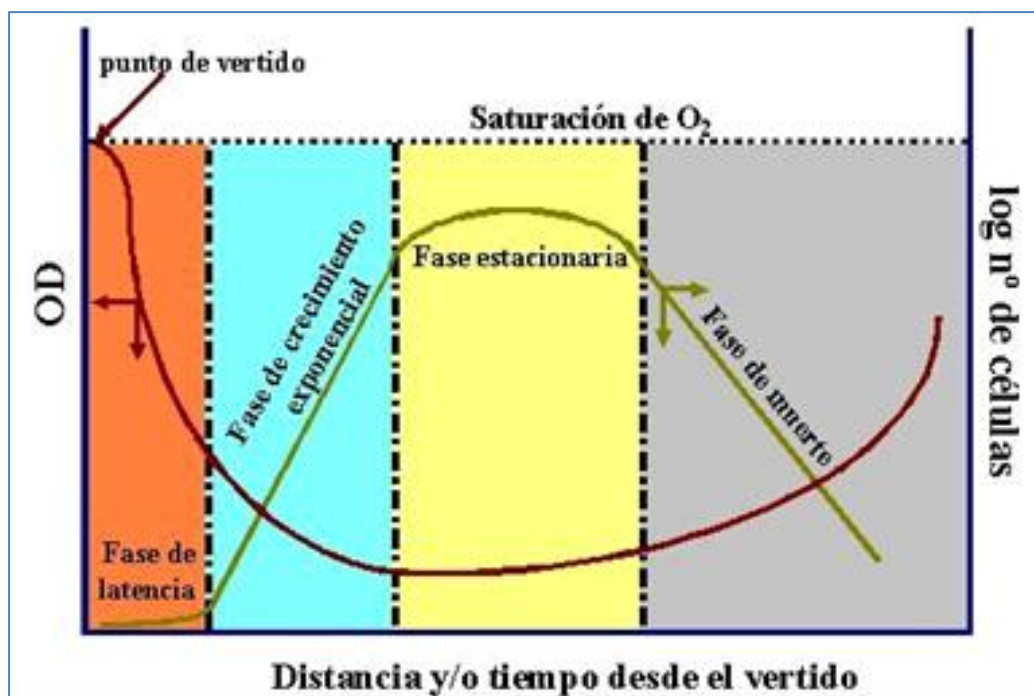


Figura 24. Evolución de un sistema acuático aerobio tras un vertido biodegradable.

La velocidad de solubilización del oxígeno depende de una serie de parámetros, especialmente de la temperatura y de las diferencias de presiones parciales entre el oxígeno disuelto en el agua y la presión parcial del mismo en la atmósfera.

La tasa de consumo de oxígeno, varía notablemente a lo largo del tiempo, debido principalmente al metabolismo aerobio y al número de microorganismos presentes en el agua.

## 2. Crecimiento de la población

En el momento en que los organismos se ponen en contacto con el sustrato al cual están bien adaptados, crecen y se multiplican.

Asumiendo que la concentración en  $t=0$  es de  $X_0$  y que posteriormente ésta se duplica tenemos que:

Tiempo	Concentración	Formulación
0	$X_0$	$2^0 X_0$
Tg	$2X_0$	$2^1 X_0$
2Tg	$4X_0$	$2^2 X_0$
3Tg	$8X_0$	$2^3 X_0$
N·Tg	→	$2^n X_0$

Para el tiempo  $t = N \cdot tg$  la concentración será:

$$X_t = 2^n X_0 = 2^{\frac{t}{tg}} \cdot X_0$$

Si se aplican logaritmos en ambos lados tenemos:

$$\ln X_t = \frac{t}{tg} \ln 2 + \ln X_0$$

Si se denomina  $\mu = \frac{\ln 2}{tg} = \frac{0,69}{tg}$ , se podrá reescribir la ecuación de la concentración como:

$$\ln X_t = \mu t + \ln X_0$$

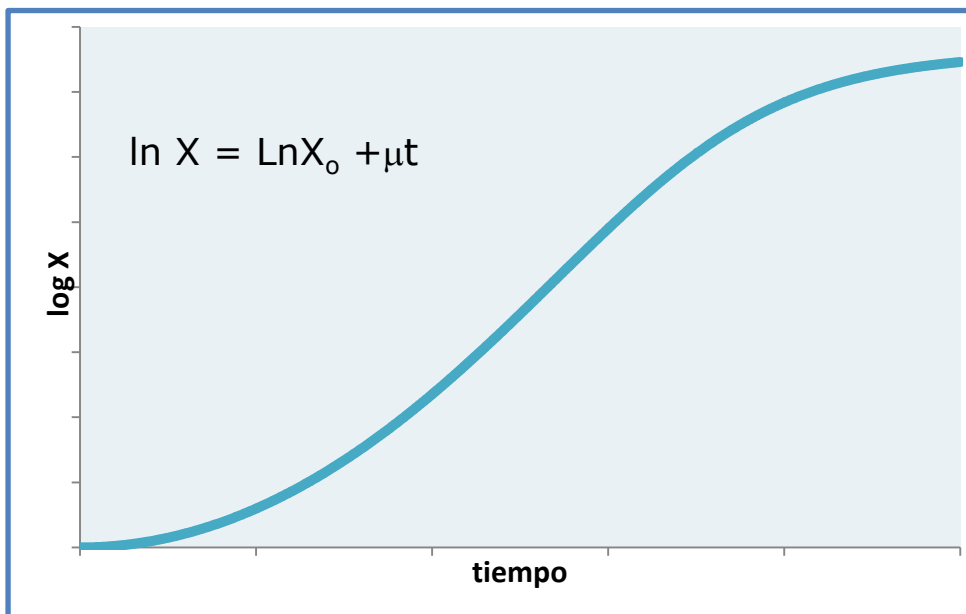


Figura 24 . Evolución de la población con el tiempo

Lo que equivale también a:

$$X_t = X_0 e^{\mu t}$$

En el momento en que se conoce el valor de  $\mu$ , se puede calcular la concentración para cualquier instante. La variable  $\mu$  se denomina velocidad específica de crecimiento o tasa de crecimiento. Esta variable sólo depende del tiempo de generación del organismo tratado, asumiendo un sustrato elevado.

Si se deriva la ecuación se obtendrá la ecuación general de la cinética del crecimiento:

$$\frac{\partial X_t}{\partial t} = \mu X_t, \text{ luego } \mu = \frac{1}{X_t} \frac{\partial X_t}{\partial t}$$

En el caso de que el sustrato no cumpliera dichas condiciones, la ecuación varía, y  $\mu$  depende de la ecuación de Jacques Monod. Esta situación se llama de sustrato limitado o bajo sustrato.

$$\mu = \mu_{max} \cdot \frac{S}{K_s + S}$$

donde:

$S$ : Concentración de sustrato limitante ( $mg/l$ )

$\mu_{max}$ : Velocidad específica o tasa de crecimiento máxima ( $h^{-1}$ )

$K_s$ : Constante de saturación ( $mg/l$ )

Combinando las ecuaciones anteriores tendremos que:

$$\frac{\partial X_t}{\partial t} = \mu_{max} \cdot \frac{S}{K_s + S} \cdot X_t$$

Se trata de la ecuación de la velocidad de crecimiento en función de la concentración del sustrato.

Si el sustrato no está limitado obtenemos la fórmula inicial:

$$Si S \gg K_s,$$

$$\frac{\partial X_t}{\partial t} = \mu_{max} \cdot \frac{S}{K_s + S} \cdot X_t$$

$$\frac{\partial X_t}{\partial t} = \mu_{max} \cdot X_t$$

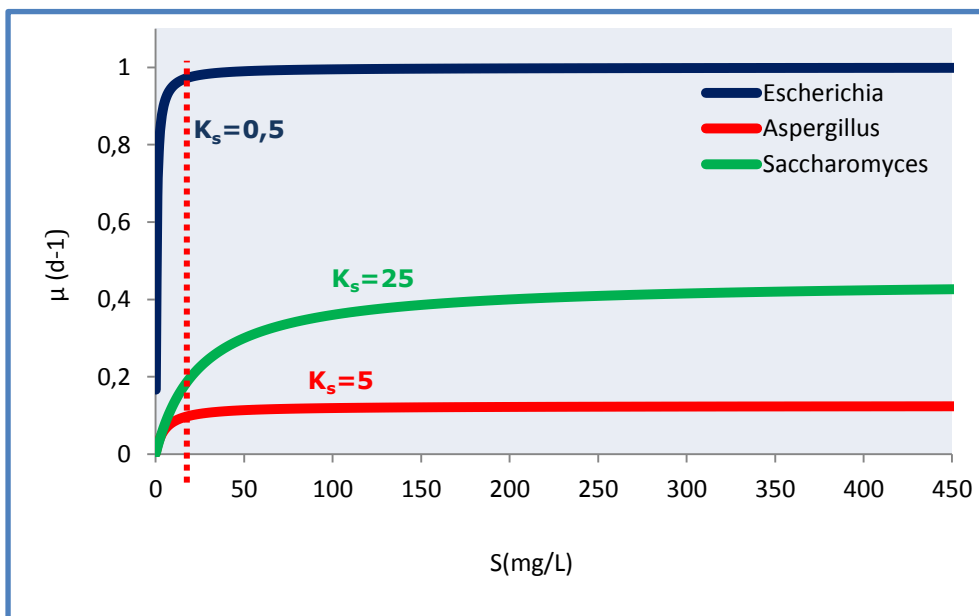


Figura 25. Tasa de crecimiento de algunas especies presentes en el agua con el tiempo

En la figura 25 se puede comprobar la influencia del sustrato en la tasa de variación. Cuando el sustrato es limitado vemos una gran variación de la tasa en función de la concentración. Si la concentración es suficientemente grande se comprueba que la  $\mu$  apenas varía.

### 3. Fases del crecimiento

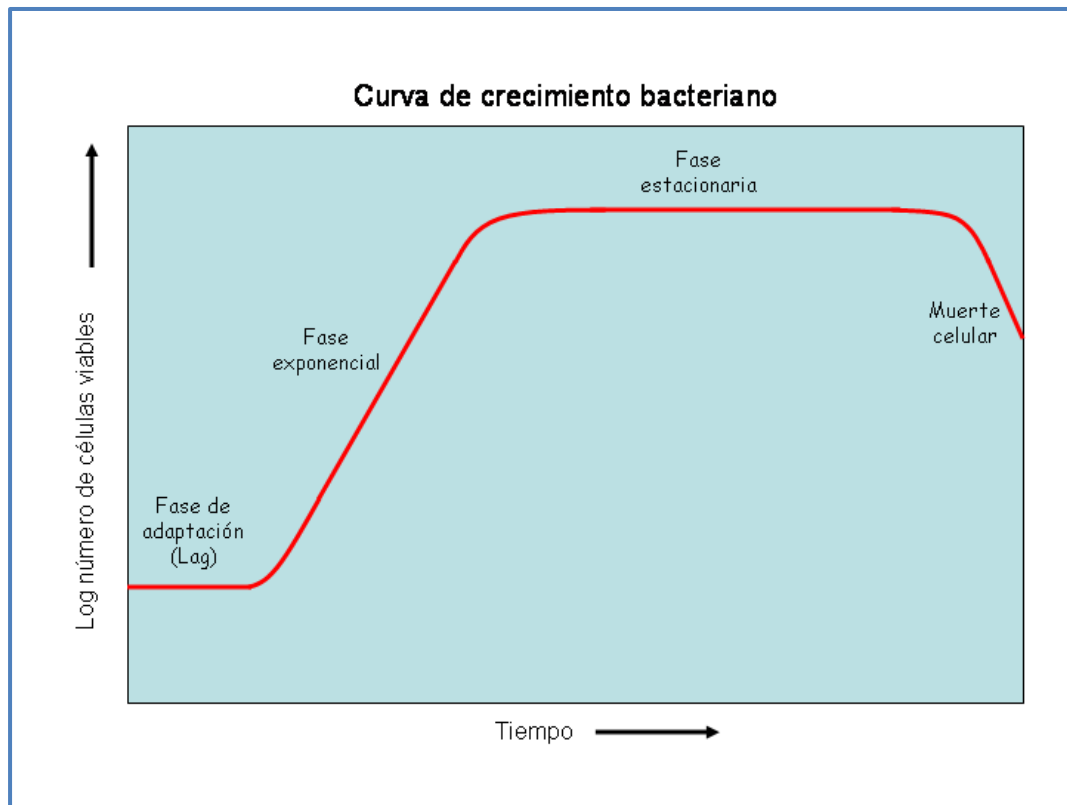


Figura 26. Fases del crecimiento bacteriano (

#### **1. Fase de adaptación o latencia:**

Se trata de la etapa inmediatamente posterior al vertido. Se caracteriza por un crecimiento lento en el número de individuos, dado que los microorganismos han de habituarse a las condiciones del vertido.

#### **2. Fase de crecimiento exponencial:**

Fase en que el metabolismo anabólico predomina sobre el catabólico, aumentando la biomasa del sistema. Como ha sido explicado anteriormente la población se duplica cada cierto tiempo.

#### **3. Fase estacionaria:**

A medida que la población va creciendo la cantidad de sustrato va disminuyendo y con ello el crecimiento celular, por lo que el mecanismo anabólico se equilibra con el catabólico

#### **4. Fase de muerte**

Está favorecida por el agotamiento de las reservas celulares de energía, entre otros. Es función exponencial al igual que el crecimiento.



### **3.5 Clasificación de las especies en el tratamiento biológico:**

En un sistema de depuración aerobio tendremos principalmente:

1. Especies productoras (**autótrofas**), que emplean la energía solar y las reacciones químicas para convertir materia orgánica en inorgánica.
2. Especies consumidoras (**heterótrofas**), que se alimentan de otras. Dentro de estos tenemos 3 subgrupos (primer, segundo y tercer orden)
3. Especies descomponedoras o **saprófagas**, que transforman la materia orgánica en inorgánica (empleando los residuos existentes) y cerrando el ciclo trófico.

Las bacterias, los hongos, amebas y algunos protozoos actúan como organismos autótrofos y consumidores iniciales de la materia orgánica. En este nivel las bacterias son las que más materia consumen dado que su crecimiento y desarrollo es mucho mayor (al ser su tasa de crecimiento ( $\mu$ ) mucho mayor que la del resto como puede observarse en la figura 25 para el género *Escherichia*). En ciertos sistemas como el lagunaje las algas también tienen un papel muy importante.

Sobre el nivel trófico primario se sustentan todos los demás niveles. Los consumidores primarios son organismos heterótrofos (protozoos principalmente) que se alimentan de bacterias libres dispersas.

Por lo general cuando existe un salto en el nivel trófico, la materia disponible disminuye en un 10%. En el nivel secundario aparecen otros ciliados (suctorias y ciliados fijos) que hacen disminuir la biomasa generando desechos para los saprófagos o materia mineralizada.

Finalmente, en el último nivel trófico, ciertos rotíferos, insectos y larvas se encargan de acabar con la materia biológica restante.

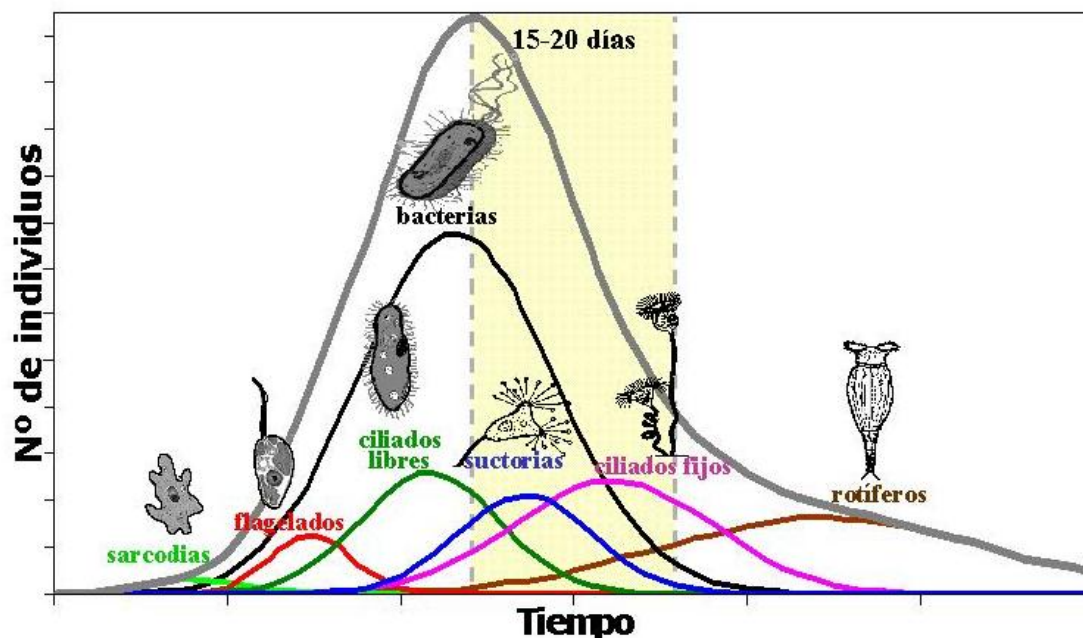


Figura 27. Especies presentes en el agua residual y tiempo de permanencia



### **3.6 Factores que influyen en la oxidación biológica:**

1. Características del sustrato:

Las características físicas y químicas del agua, determinan la capacidad de desarrollo de los microorganismos en el sistema, así como la biodegradabilidad de las aguas.

2. Nutrientes:

Se consideran nutrientes el Nitrógeno, el Fósforo, Azufre, Calcio, Magnesio y otros elementos fundamentales para el desarrollo de la síntesis biológica.

El nivel medio de nutrientes necesarios para sobrevivir por cada 1000 gramos de C, son 43 de N y 6 de P. En las aguas residuales urbanas estas cantidades son 200 gramos de N y 16 gramos de P.

A nivel general los nutrientes presentes en el agua residual, son necesarios para que los microorganismos del agua residual se desarrollen perfectamente.

3. Oxígeno:

La aportación de oxígeno y las condiciones en que se aportan es necesaria y ha de ser controlada para el correcto desarrollo de los mecanismos biológicos.

4. Temperatura:

La temperatura afecta directamente en las reacciones de oxidación, variando su velocidad conforme a la siguiente reacción.

$$K_T = K_{20} \epsilon^{(T-20)}$$

donde:

$K_T$ : Velocidad de reacción a una temperatura dada ( °C)

$K_{20}$ : Velocidad de reacción a 20 °C

$\epsilon$ : Coeficiente de actividad- temperatura (1-1.4)

$T$ : Temperatura en °C

5. Salinidad:

El contenido en sales disueltas no suele ser problemático para el desarrollo bacteriano en los procesos de cultivos en suspensión hasta concentraciones de 3 a 4 gr/l.

En los cultivos de tipo fijo la influencia es algo menor, afectando valores siempre inferiores a 15gr/l



6. Toxicidad:

Existen ciertas sustancias que impiden el correcto desarrollo de los procesos biológicos. Entre estas sustancias, se encuentran en los metales pesados, y ha de impedirse el contacto de éstos con el agua residual.

Metal (ppm)	Límite de inhibición (mg/l)
<b>Cromo</b>	0,25
<b>Cobre</b>	0,005-0,5
<b>Cianuro</b>	0,34
<b>Plomo</b>	0,5
<b>Magnesio</b>	50
<b>Níquel</b>	0,25
<b>Sulfatos</b>	500
<b>Cinc</b>	0,08-0,5
<b>Fenol</b>	4

Figura 28. Límite de inhibición de tóxicos en el agua para el tratamiento biológico (EPA).

### **3.7 Tipos de tratamiento secundario:**

#### **A. Cultivos en suspensión:**

Se trata del sistema convencional en que el agua decantada y el fango activado se mezclan junto con aire en el tanque de aireación. En ese momento se produce la floculación y la oxidación de la materia orgánica y posteriormente la separación en el decantador secundario.



Figura 29. Tanque de aireación en proceso de fangos activados. (Estación de aguas residuales de Fairfield)

#### **B. Sistemas de lecho fijo:**

En este tipo de procesos se emplea un soporte fijo donde se desarrolla el crecimiento microbiano. Por lo general se emplea un reactor cilíndrico relleno de un material de gran superficie específica sobre el que se crea una biopelícula. Se realiza una aireación, bien natural o forzada, para así mantener la actividad biológica.

Las sustancias contaminantes se difunden junto con el oxígeno presente en el aire a través de la biopelícula hasta los microorganismos asimiladores.

*Los lechos bacterianos (o filtro biológico)* reduce el índice de  $DBO_5$  hasta un 80%. El agua penetra al filtro y mediante una serie de tubos u orificios se distribuye a lo largo de toda la superficie soporte.

Conforme el agua discurre, la película va siendo arrastrada, creándose nueva película en estas zonas.

Por lo general cuando se emplean este tipo de tecnologías en las plantas los tratamientos previos son idénticos, entrando el agua por la parte superior y saliendo por la inferior del lecho. Las aguas depuradas y la biomasa pasan finalmente a una etapa de decantación.

La principal diferencia entre esta tecnología y el sistema convencional es que no hay necesidad de sistemas complejos de agitación para mantener la biomasa en suspensión, lo que se traduce en un menor consumo energético.

Por lo general esta tecnología se emplea en pequeñas comunidades pues su mantenimiento es sencillo y la fluctuación de caudal no es excesiva.

Las ventajas principalmente son:

- menor consumo de energía
- explotación más sencilla
- menor contaminación acústica
- menor superficie de instalación
- menor demanda energética que los procesos convencionales.

Las desventajas de este tipo de sistemas son:

- Costes elevados de instalación
- Mantenimiento más complejo
- Mayor consumo energético que las tecnologías blandas o de bajo coste.



Figura 30. Agua entrando por la zona superior del filtro percolador.



Los *biodiscos* es otra tecnología parecida a los lechos bacterianos sobre los cuales se desarrolla el crecimiento microbiano. El proceso emplea una serie de discos ( $\phi=3\text{m}$ , 1-2mm espesor). Los biodiscos giran (aprox 1-4 rpm) manteniendo una parte de su estructura siempre sumergida (aprox 2/5 partes). De esta forma la biomasa toma el oxígeno de la atmósfera y así se produce la degradación de la materia orgánica de manera progresiva.

Llega un instante en que el espesor de la película generada (entre 0,2 y 3 mm) es tal que impide la difusión plena de oxígeno y otros nutrientes. Motivo por el cual los microorganismos mueren, perdiéndose la resistencia mecánica de manera que el movimiento del disco provoca entonces el desprendimiento de parte de la película que se separa posteriormente del agua mediante un clarificado. En esa zona que se ha desprendido vuelve a generarse nueva película y el proceso sigue su curso.

Los materiales suelen ser poliméricos para evitar corrosiones y reducir el peso de la estructura. Si la producción es muy elevada se puede emplear un grupo de aireación suplementario.



Figura 31. Esquema de depuración con biodiscos (depuradoras.eu)

### **C. Tecnologías blandas**

Fundamentalmente se emplean lagunas, reduciendo el coste de las operaciones y basándose en la actividad natural del medio. El tratamiento consiste en almacenar las aguas residuales durante un tiempo y favorecer el crecimiento y la actividad microbiana en ellas. Según el mecanismo que actúe las lagunas pueden ser aerobias, facultativas o anaerobias, pudiendo combinarse y realizar un tratamiento completo del agua

La profundidad es un factor importante y no suele exceder los 2 metros en el caso de las aeróbicas o facultativas. Por lo general la existencia de algas produce una aireación superficial debido al proceso fotosintético.

El principal inconveniente de este tratamiento es la necesidad de amplias superficies y por ello sólo es apta para pequeñas comunidades, donde el precio del suelo sea bajo.



Figura 32. Tratamiento secundario mediante lagunaje en La copa de Bullas, Murcia. (DAM)

### **3.8 Fangos Activados:**

Se trata del proceso que se emplea mayoritariamente fundamentada en dos operaciones: la oxidación y la separación sólido-líquido.

La oxidación tiene lugar en el tanque de aireación o reactor biológico, donde la población microbiana entra en contacto con el agua residual. El cultivo biológico o licor mezcla se agrupa con la materia orgánica en flóculos. Los microorganismos se encargan de realizar el conjunto de reacciones de oxidación. La población microbiana ha de mantenerse siempre en un determinado nivel, para llegar a un equilibrio entre la carga orgánica que se va a eliminar y la cantidad de microorganismos necesarios para su eliminación.

Para que ocurran estas reacciones en el tanque de aireación, es necesario tanto el aporte de oxígeno como la agitación para lograr homogeneizar la mezcla y que se produzcan el conjunto de reacciones anteriormente citadas. Estos dos efectos se suelen conseguir simultáneamente mediante agitadores mecánicos o neumáticos.

Una vez que la materia orgánica ha sido oxidada, el licor mezcla se traslada a un decantador donde se produce la separación sólido-líquido. Parte de los fangos obtenidos son recirculados al reactor biológico para mantener la concentración de microorganismos. Por otro lado el exceso de fangos es conducido hasta otra zona donde son tratados.

Este proceso denominado fangos activados o lodos activados fue desarrollado en 1914 en Reino Unido por Arden y Lockett y se trata de la tecnología más empleada.



Figura 33. Esquema de tratamiento secundario mediante fangos activados (Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales)



### **Fangos Activos: Biofloculación**

El sistema de lodos activados se fundamenta en el proceso físico-biológico, la biofloculación. Se trata de la agregación de partículas de tamaño pequeño suspendidas en el medio líquido, lo que genera estructuras que permiten su separación posterior mediante decantación. Estas estructuras se denominan flóculos.

Un flóculo está compuesto por materia orgánica coloidal (proteínas extracelulares, polisacáridos...), bacterias filamentosas y formadoras de flóculo. El comportamiento del flóculo y su desarrollo permite conocer el estado y el rendimiento del proceso. En ocasiones en que no hay suficientes bacterias filamentosas, los flóculos se rompen durante la agitación y escapa junto con el efluente. Sin embargo si la concentración de filamentosas es elevada la decantación es más compleja y pueden escapar también sólidos con el efluente (fenómenos de foaming y bulking).

El estado del flóculo nos permite conocer en qué fase de formación se encuentra. Los flóculos grandes ( $>3\text{mm}$ ) y los más ramificados están presentes en fangos de más de 15 días. Los tamaños de 0,5 a 1,5 mm corresponden a edades de 5 días, mientras que los pequeños (por debajo de 0,5mm) corresponden a fangos jóvenes.

Las fases principales son:

Fase de formación: El flóculo no está definido

Fase de crecimiento: el tamaño oscila entre los 60 y los 90  $\mu\text{m}$

Fase de desarrollo óptimo: tamaño medio en torno a 1500  $\mu\text{m}$

Fase de envejecimiento: flóculos de tamaño excesivo  $>1500\text{ }\mu\text{m}$

En la fase de desarrollo óptimo se produce un ambiente ánoxico con exterior aerobio. En esta fase participan fundamentalmente protozoos ciliados.

En la fase final de envejecimiento se observa por ciertos grupos de bacterias, protozoos y macroinvertebrados presentes en él.

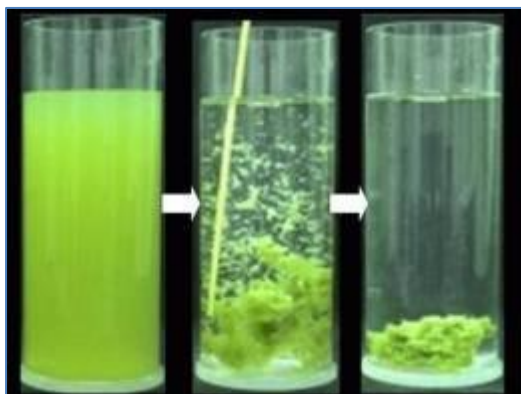


Figura 34. Ejemplo de generación de flóculos a escala macroscópica y posterior decantación.



## **Tipos de procesos**

### **1. Proceso Convencional**

#### **a. Flujo Pistón:**

Se lleva a cabo en una cuba de aireación rectangular seguido de un decantador secundario. Tanto el fango recirculado como el agua entran en la cuba por un extremo, donde son aireados y se produce la floculación y oxidación de la materia orgánica.

Ventajas:

- Permite menores volúmenes que el reactor de mezcla completa
- Operación flexible
- Menor necesidad de aireación
- Menores requerimientos por reactor
- Mejor capacidad posterior de sedimentación

Desventajas;

- Mayor demanda interior de oxígeno
- Puede tener problemas con caudales pico
- Elevados costes de construcción

#### **b. Mezcla Completa**

La mezcla es mezclada de forma uniforme. Tanto los fangos recirculados como el efluente inicial se mezclan de forma homogénea mientras que son aireados en la cuba.

Ventajas:

- Permite trabajar correctamente con caudales pico
- Apto para poblaciones que no son extremadamente grandes
- Sencillez en la explotación

Desventajas:

- Gran volumen, coste elevado de aireación
- Flexibilidad moderada
- Asociado con la aparición de bulking



c. **Alimentación escalonada**

El agua residual se introduce en el tanque de aireación de flujo pistón junto con los fangos recirculados en diversos puntos del recorrido del licor mezcla. Se elimina la materia orgánica en un periodo menor debido a que se consiguen mejores propiedades de adsorción.

2. **Aireación prolongada**

Apto para cargas medias y tiempos de aireación elevados. Se emplea en comunidades de tamaño pequeño-medio. La planta de tratamiento consiste en un pretratamiento, una cuba biológica y un decantador secundario, con un tratamiento primario opcional.

Ventajas:

- Operación flexible en cuanto a la aireación
- Proceso muy estable
- Buenas características para decantación posterior

Desventajas:

- Tiempos elevados de aireación
- Altos requerimientos de aireación
- Costes elevados de equipo de aireación dado que es necesario agitar y airear al mismo tiempo. También los costes de mantenimiento son elevados.

3. **Canales de oxidación**

La oxidación biológica se produce en un canal cerrado y se suelen emplear aireadores mecánicos horizontales superficiales.

Son sistemas empleados para baja carga, aunque admite cierta flexibilidad.

Entre los distintos tipos se encuentran:

- a) **Carrusel:** Posee una configuración de canal, pero emplea aireadores verticales, lo que permite una potencia adecuada para transferir de oxígeno y evitar la sedimentación en la cuba o tanque. La profundidad puede llegar a ser de hasta 4 m.
- b) **Orbal:** En este proceso existen una serie de canales concéntricos a lo largo de los cuales la concentración de oxígeno varía. El agua atraviesa progresivamente estos canales hasta acabar en el decantador secundario. Es un sistema ideado fundamentalmente para procesos de nitrificación y desnitrificación, al controlarse perfectamente las concentraciones de  $O_2$ .



#### **4. Procesos de bioadsorción**

Estos procesos se fundamentan en las propiedades bioadsorbentes de los flóculos. De esta forma la capacidad que tiene la materia orgánica de adherirse a los flóculos y ser degradada es un indicador de la calidad del fango activo con el que se trabaja. Existen fundamentalmente 2 procesos basados en este fundamento.

##### **a) Contacto Estabilización:**

La alimentación ocurre en dos etapas que se producen en dos cubas distintas. En la primera fase, que dura entre 20 minutos y 1 hora, se absorbe la materia orgánica por parte de los flóculos. Posteriormente en la segunda etapa se emplea un clarificador que pasa a una cuba de aireación donde se produce la oxidación final.

Ventajas:

- Reducción en las necesidades de aireación
- Mejor capacidad de sedimentación en los fangos

Desventajas:

- Operación compleja
- Reducción en la eliminación de Amoniac

##### **b) Proceso de doble etapa:**

La depuración se realiza en dos etapas claramente diferenciadas. En este caso cada etapa tiene un reactor y un decantador.

En la etapa inicial se alimenta con cargas elevadas y poco tiempo de oxigenación. Con ello se consigue el desarrollo de ciertos organismos y sustancias que mejoran las propiedades floculares.

En la segunda etapa se establece una carga media, con elevado contenido en  $O_2$ , siendo éste un proceso similar al convencional.

Ventajas:

- Operación flexible, apto para automatización
- Especialmente diseñado para pequeñas plantas
- Ausencia por lo general de decantador primario
- Buena sedimentabilidad, no se almacenan fangos.

Desventajas:

- El equipo de aireación y decantación es específico para estos sistemas, lo que implica costes elevados.
- Operación compleja.



### **5. Sistemas de oxígeno de alta pureza**

En estos sistemas se emplea  $O_2$  puro, lo que implica una mayor eficiencia del proceso. El  $O_2$  se puede emplear bien para un funcionamiento continuo en la estación, o bien solamente en momentos de carga punta.

Asimismo el  $O_2$  puede usarse como complemento a la aireación normal, incrementando el contenido de  $O_2$  disuelto y mejorar el rendimiento depurativo.

Ventajas:

- Cinco veces mejor aireación que el aire convencional
- Menor volumen
- Mayor concentración de biomasa, limitada por la capacidad del decantador secundario

Desventajas:

- Proceso muy caro: tanques cerrados, mucha energía necesaria, equipo de recirculación de gas
- Necesaria la adición de compuestos alcalinos para mantener el pH
- Ninguna flexibilidad en el proceso.
- Problemas en la sedimentación

## **4. Dimensionamiento del tratamiento secundario:**

### **4.1 Población de diseño:**

La población de diseño será de 40.000 personas, lo que equivale a una ciudad de tamaño medio española (San Fernando de Henares o Tres Cantos).

Recurriendo a la figura 2 del presente documento obtendríamos aproximadamente 250 litros por habitante y día (l/hab/d)

Si establecemos un margen de seguridad del 25% aproximadamente tendríamos:

*Dotación de abastecimiento:*  $250 \cdot 1,25 = 312 \text{ l/hab/d}$

### **4.2 Caudales:**

Teniendo en cuenta la población y la dotación de abastecimiento calculamos los caudales necesarios:

#### **I. Caudal medio:**

Es el caudal de todo un día, teniendo en cuenta 24 horas de período y una población de 40000 habitantes.

$$Q_{medio} = \frac{\text{Población}(\text{hab} - eq) \cdot \text{Dotación}(\text{l/hab/d})}{1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3}}$$

$$Q_{medio} = \frac{40000(\text{hab} - eq) \cdot 312(\text{l/hab/d})}{1000 \frac{\text{l}}{\text{m}^3}} = 12480 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$Q_{medio} = 12480 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot \frac{\text{d}}{24\text{h}} = 520 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$



## II. Caudal punta:

Se trata del caudal que contempla el incremento de éste a determinadas horas punta.

$$Q_{punta} = Q_{medio} \cdot k$$

$K=2,5-4$  para poblaciones pequeñas  
 $K=1,5-2,5$  para poblaciones grandes

En nuestro caso consideramos un factor de 2,5 (dado que nuestro valor se aproxima al límite de población grande 50.000) obteniendo un caudal punta de:

$$Q_{punta} = 520 \frac{m^3}{h} \cdot 2,5 = 1300 \frac{m^3}{h}$$

Empleando una fórmula empírica (Manual de diseño de tratamiento de aguas residuales):

$$Q_{punta} = Q_{medio} \cdot \left( 1,15 + \frac{2,575}{Q_{medio}^{\frac{1}{4}}} \right) = 878,4 \frac{m^3}{h}$$

Haciendo la media entre ambos datos, obtenemos un caudal punta de:

$$Q_{punta} = \frac{1300 + 878,4}{2} \cong 1090 \frac{m^3}{h}$$

## III. Caudal mínimo

El caudal mínimo es importante sobre todo cuando la planta empieza su funcionamiento. Por lo general dependiendo del tamaño de la población será:

$$Q_{min} = Q_{medio} \cdot k$$

$K=0,3$  para poblaciones pequeñas  
 $K=0,5$  para poblaciones grandes

Luego el  $Q_{min}$  será de  $156 \frac{m^3}{h}$

### 4.3 Contaminantes:

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
<b>Sólidos en suspensión(mg/l)</b>	150
<b><i>DBO<sub>5</sub></i>(mg/l)</b>	200
<b>DQO(mg/l)</b>	300
<b>Nitrógeno(mg/l)</b>	50
<b>pH</b>	7

Figura 35. Datos de partida

Estos serían los valores medios tipo que se emplearán en el diseño de planta. Se ha de tener en cuenta que según la Directiva 91/271/CEE se establecen los requisitos para vertidos que han superado un tratamiento secundario según:

<i>Parámetro</i>	<i>Concentración</i>	<i>% Reducción</i>
<b><i>DBO<sub>5</sub></i>(mg/l)</b>	25 mg/lO <sub>2</sub>	70-90
<b>DQO</b>	125 mg/lO <sub>2</sub>	75
<b>SS</b>	35 mg/l	90
<b>N</b>	15 mg/l	70-80
<b>pH</b>	6-8	

Figura 36. Datos de vertido según legislación.

#### Nota:

1. La DBO contemplada se efectúa en condiciones de 20°C y sin nitrificación
2. La presente tabla se aplica sólo a zonas urbanas por debajo de 1500msnm. Si la altitud fuera superior el régimen sería distinto (zona de alta montaña).
3. En el diseño del presente tratamiento secundario, la desaparición del P no se contemplará y se estudiaría en cualquier caso en un tratamiento terciario.

#### **4.4 Línea de Agua:**

En el caso analizado con una población de 40.000 hab-eq se establecerán 2 líneas. Ello implicará que a efectos de cálculo ambas son simétricas y tendrán el mismo dimensionamiento.



Figura 36. Vista aérea de la depuradora de Linares, diseñada para 50000 habitantes.

- *Pretratamiento*
- *Tratamiento primario*
- *Cubas de aireación*
- *Decantación Secundaria*

En la foto anterior se comprueba la simetría entre en este caso las 2 líneas de agua existentes. Cada unidad del tratamiento primario, y secundario está reproducida de forma exacta y opera en las mismas condiciones.

#### 4.5 Datos de partida:

Datos Iniciales					
Población de diseño	40000	Hab-Equiv.			
Dotación	312	l/hab/d			
Caudales					
Diario	12.480	m3/d			
Medio horario	520,00	m3/h.			
Punta biológico horario	624,00	m3/h.			
Mínimo horario	156,00	m3/h.			
Contaminación	Concentración		Carga total diaria		
SS	150,00	mg/l	1872	kg/d	
DBO	200,00	mg/l	2496	kg/d	
DQO	300,00	mg/l	3744	kg/d	
N	50,00	mg/l	624	kg/d	
Contaminación Salida	Concentración		Carga total		
SS	35,00	mg/l	436,8	kg/d	
DBO	25,00	mg/l	312	kg/d	
DQO	125,00	mg/l	1560	kg/d	
N	15,00	mg/l	187,2	kg/d	
Rendimientos Mínimos	%				
SS	76,7				
DBO	87,5				
DQO	58,3				
N	70,0				

Figura 37. Datos de partida

A efectos de calcular la temperatura de proceso, se estimará en la media del rango habitual descrito en el inicio del presente documento.

$$Temperatura\ de\ diseño = \frac{10 + 21}{2} = 15,5^{\circ}C$$

La altura de diseño de la EDAR es de 500msnmm para cálculo de presiones y bombeo.

#### **4.6 Instalación y Tratamiento adoptado:**

Previamente como ya ha sido comentado tendremos:

- Obra de llegada, con estanque de tormentas y bypass de planta
- Pretratamiento:
  - Desbaste
  - Desarenado
  - Desnatado
  - Tamizado
- Tratamiento primario (\*)

En cuanto al tratamiento biológico se optará por una aireación prolongada teniendo en cuenta que ésta favorece las condiciones de nitrificación y que el tamaño de población equivalente es el adecuado para este tipo de procesos (Tabla 10.3 Metcalf & Eddy).

En la aireación de la cuba se adoptarán 2 soluciones, por un lado una aireación mecánica clásica y una aireación por difusión mediante difusores de membranas.\*La adopción del tratamiento primario sería en este caso opcional

En la figura 38 la EDAR considerada tiene tanto tratamiento secundario de fangos activados por aireación prolongada y lagunaje como primario de decantación



Figura 38. Depuradora de Crevillente en Alicante (Damaguas). Depuradora con sistemas complejos incluyendo aireación prolongada



#### **4.7 Parámetros tratamiento biológico:**

##### **Carga másica:**

Se trata de la relación entre la masa de materia orgánica que entra en el reactor y la masa de microorganismos que reside en él por unidad de tiempo.

Típicamente en los reactores de fangos activados mediante aireación prolongada la carga másica  $C_m=0,07$

##### **Rendimiento:**

Como se ha comprobado el rendimiento mínimo necesario para eliminación de DBO sería del 87,5%.

A continuación calcularemos el rendimiento adoptado al dimensionar la estación depuradora.

Primero se ha de calcular el  $DBO_5$  disuelto y para ello es necesario el factor de eliminación de DBO.

Este factor  $K_m$  será de  $263,9 d^{-1}$  para  $T=15,5^\circ C$

El MLSS o concentración de sólidos en reactor será de 3,7 gramos por litro (Valor típico en aireación prolongada, entre 3 y 4 g/l).

Así el  $DBO_5$  disuelto será:

$$DBO_{5 \text{ Soluble en el efluente}} = \frac{DBO_{5 \text{ entrada}}}{1 + \left( K_m \cdot DBO_{5 \text{ entrada}} / MLSS \cdot C_m \cdot 1000 \right)}$$

$$DBO_{5 \text{ Soluble en el efluente}} = \frac{200}{1 + \left( \frac{263,9 \cdot 200}{3,7 \cdot 0,07 \cdot 1000} \right)} = 0,98 mg/l$$

Por otro lado se calcula la  $DBO_5$  consecuencia de los SS del efluente:

$$DBO_{5\text{ SS del efluente}} = SS_{\text{efluente}} \cdot f(C_m) = 35 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot 0,8 \cdot 0,07^{\frac{1}{2}} = 7,41 \text{mg/l}$$

donde:

$$SS_{\text{efluente}} = 35 \text{mg/l}$$

$$f(C_m) = 0,8 C_m^{\frac{1}{2}}$$

Finalmente se computa el  $DBO_5$  total en el efluente

$$DBO_{5\text{ total}} = DBO_{5\text{ SS}} + DBO_{5\text{ disuelto}} = 7,41 + 0,98 = 8,38 \text{ mg/l}$$

El rendimiento teórico sería entonces:

$$\frac{DBO_{5\text{ entrada}} - DBO_{5\text{ salida}}}{DBO_{5\text{ entrada}}} = \frac{200 - 8,38}{200} = 0,9598 \rightarrow 95,98\%$$

Finalmente normalizamos el resultado y sabiendo el valor de la carga másica y los coeficientes cinéticos:

A= 0,657 (Crecimiento de microorganismos)

K= 0,053 (Coeficiente de mortandad)

Obtenemos un rendimiento observando la tabla (cálculos dimensionamiento grupo TAR) del 93,5%, que será el rendimiento para el diseño.

Carga másica	0,100	0,090	0,070
A	0,652	0,654	0,657
K	0,066	0,059	0,053
Rendimiento	93,000	93,000	93,500

Luego finalmente tendremos:

$$\eta_{\text{mínimo}} = 87,5\%$$

$$\eta_{\text{teórico}} = 95,8\%$$

$$\eta_{\text{adoptado}} = 93,5\%$$



**Edad del fango:**

La edad mínima en este caso para la nitrificación es de 8,57 días suponiendo un volumen de zona anóxica del 20%. Asimismo se supondrá un factor de seguridad de 1,25.

Fórmula de Degremont

$$E = \frac{1}{0,2 \cdot C_m + C_m^{1,5}} = \frac{1}{0,2 \cdot 0,07 + 0,07^{1,5}} = 30,7 \text{ días}$$

Comprobamos que tal como debe ser la edad de fango calculada es mayor que la necesaria para nitrificación.

**Esquema del tratamiento:**

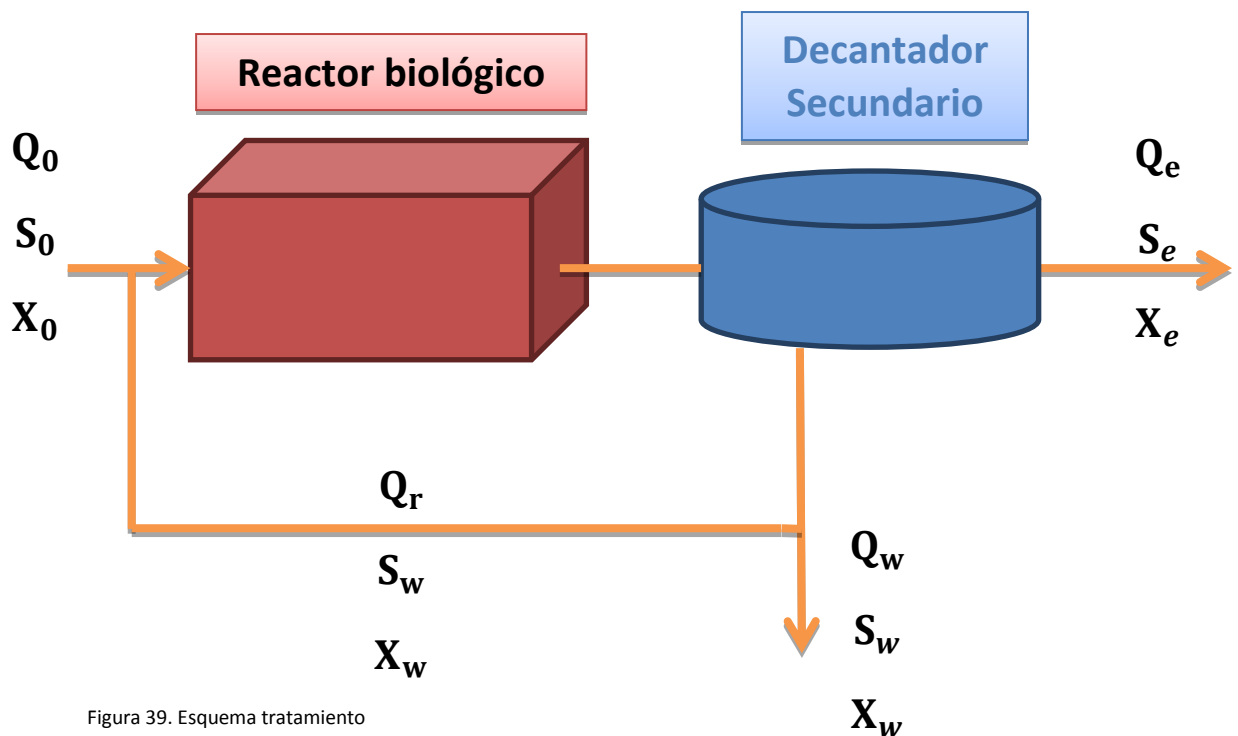


Figura 39. Esquema tratamiento

**Donde:**

X: corresponde a la concentración Sólidos

S: Corresponde a la concentración de DBO

Q: Corresponde al caudal considerado.



**Volumen del reactor y diseño:**

Para el cálculo del volumen emplearemos la siguiente fórmula:

$$V = \frac{DBO_{5\text{ entrada}}}{C_m \cdot MLSS_{\text{tanque}}}$$

$DBO_{5\text{ entrada}} = S_0$ , la concentración de DBO a la entrada  $\left( kgDBO/día \right)$

$C_m = \text{Carga másica}$

$MLSS_{\text{tanque}} = \text{Concentración de Sólidos en suspensión en cuba } X_0 \left( kg/m^3 \right)$

El volumen necesario finalmente es:

$$V = \frac{2496}{0,07 \cdot 3,7} = 9637,06 \text{ m}^3$$

Teniendo en cuenta que el diseño prevé dos líneas de agua, tendremos un volumen unitario por reactor de  $4818,53 \text{ m}^3$

Existen dos opciones por lo general en la construcción de estas cubas, por un lado una cuba a medida en hormigón armado y por otro a medida en paneles prefabricados.

Las medidas que se adoptarán serán:

Parámetro	Valor
Número reactores	2
Volumen útil unitario	$5029,12 \text{ m}^3$
Superficie útil Unitaria	$1005,82 \text{ m}^2$
Profundidad Reactor	5 m
Ancho Reactor	8,25 m
Longitud tramo recto	48 m

Figura 40. Dimensiones reactor

Notas:

Para el cálculo del volumen unitario real se emplea la siguiente fórmula:

$$V_{unitario} = (Ancho^2 \cdot \pi + Longitud \cdot Ancho \cdot 2) \cdot Profundidad$$

En el cálculo de la profundidad se ha de tener en cuenta que el valor propuesto de 5 m es el útil, pero se ha de dejar un mínimo de 0,5 m más como medida de seguridad o resguardo hidráulico.



Figura 41. Disposición de reactores. (Detea)



### **Tiempo de retención hidráulica.**

El tiempo de retención en el reactor se calcula como:

$$T_r = \frac{V_r}{Q_m} = \frac{10058,25 \text{ m}^3}{520 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 19,34 \text{ horas}$$

Con caudal punta, que será el limitante:

$$T_{r \text{ punta}} = \frac{V_r}{Q_{\text{punta}}} = \frac{10058,25 \text{ m}^3}{624 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 16,12 \text{ horas}$$

Si se tiene en cuenta los parámetros de retención mínimos para un diseño por aireación prolongada (16-24h) se cumplen perfectamente las características para el funcionamiento adecuado del proceso.

### **Carga másica real:**

$$C_m = \frac{S_0 \cdot Q_m}{X \cdot V_r} = \frac{2496 \text{ Kg DBO}}{3,7 \frac{\text{kg MLSS}}{\text{m}^3} \cdot 10058,25 \text{ m}^3} = 0,0671$$

Teniendo en cuenta el valor de la  $C_m$  obtenido, se encuentra dentro de los rangos habituales del proceso (<0,1), con un 4,14% de diferencia respecto al teórico calculado.

### **Carga Volúmica de diseño:**

Mediante la carga volúmica se calculan los kg de DBO por metro cúbico presentes en el reactor.

$$C_v = \frac{S_0 \cdot Q_m}{V_r} = \frac{2496 \frac{\text{kg}}{\text{día}}}{10058,25 \text{ m}^3} = 0,25$$

El parámetro se encuentra dentro de los márgenes admisibles del proceso.

### **Necesidades de Oxígeno:**

Para el cálculo de oxígeno se empleará la siguiente fórmula:

$$O_{2 \text{ Teórico}} = O_{2 \text{ síntesis}} + O_{2 \text{ endógeno}} + O_{2 \text{ nitrificación}} - O_{2 \text{ desnitrificación}}$$

Tabla de coeficientes en función de la carga másica:

Carga másica	1,000	0,700	0,500	0,400
<b>a</b>	0,500	0,500	0,500	0,530
<b>b (20°C)</b>	0,136	0,131	0,123	0,117

Figura 42. Tabla de coeficientes cinéticos

Para el cálculo del parámetro b a la temperatura de trabajo:

$$b_T = b_{20} \cdot \theta^{T-20}$$

$$b_{15,5} = b_{20} \cdot \theta^{15,5-20} = 0,0466$$

### **Oxígeno necesario para la síntesis:**

Se trata del proceso en el cual la materia orgánica se asimila por parte de los organismos presentes en el agua:

$$O_{2 \text{ síntesis}} = a \cdot \eta \cdot S_0$$

Para:

$$a: \text{Coeficiente estequiométrico de síntesis} \left( \frac{\text{Kg } O_2}{\text{Kg } DBO_5} \right)$$

$\eta$ : Rendimiento de la eliminación de DBO en el tratamiento biológico

$S_0$ : Kg de DBO entrantes en el reactor

$$O_{2 \text{ síntesis}} = 0,659 \cdot 0,9350 \cdot 2496 = 1537,95 \frac{\text{Kg } O_2}{\text{día}}$$



**Oxígeno necesario para la respiración endógena:**

Se trata del oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica.

$$O_{2 \text{ endógena}} = b(d^{-1}) \cdot V (m^3) \cdot X \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

*Para:*

*b: Coeficiente de endogénesis ( $d^{-1}$ )*

*V: volumen del reactor ( $m^3$ )*

*X: Concentración del licor mezcla en la cuba ( $\frac{kg}{m^3}$ )*

$$O_{2 \text{ síntesis}} = 0,0466 \cdot 3,7 \cdot 10058 = 1734,33 \frac{kg O_2}{día}$$

**Oxígeno necesario para la nitrificación**

Como se ha comentado existe la posibilidad de nitrificación y se necesita calcular la cantidad de oxígeno necesaria para que las reacciones redox se produzcan.

El nitrógeno total que entra en el sistema es de 624 kg al día

En este proceso se ha de distinguir entre distintos tipos de nitrógeno:

*Nitrógeno orgánico eliminado por decantación (5 mg/l) = 52 kg/día*

*Nitrógeno orgánico soluble biodegradable (1 mg/l)= 12,48 kg/día*

*Nitrógeno orgánico soluble no biodegradable (1mg/l)=12,48 kg/día*

*Nitrógeno de fangos en exceso (4,5% DBO)= 106,19 kg/día*

*Total nitrógeno a nitrificar = 624-12,48-12,48-52-106,19=440,85 kg/día*





Si tenemos en cuenta un rendimiento en el proceso de nitrificación del 75% obtenemos un total de 344,94 kg de Nitrógeno al día, lo que equivale a una concentración de 27,64 mg/l

A continuación calculamos el oxígeno asociado al proceso:

$$kg \frac{O_2}{día} = \frac{4,57 \cdot Q \cdot [N - NO_3]}{10^3}$$

Donde:

$$Q: \text{Caudal diario } \frac{m^3}{día}$$

$$[N - NO_3]: \text{Concentración de nitratos } \left(\frac{mg}{l}\right)$$

4,57: Coeficiente estequiométrico

Finalmente obtenemos una cantidad total de:

$$kg \frac{O_2}{día} = \frac{4,57 \cdot 12480 \cdot 27,64}{10^3} = 1576,6$$

### **Oxígeno procedente de desnitrificación**

Este proceso produce oxígeno al reducirse el compuesto  $NO_3$  a gas

La cantidad de nitrógeno a desnitrificar será:

$$N_{nitrificación} - N_{vertido} = 448,85 - 85,68 = 363,17 \frac{kgN}{día}$$

Donde el  $N_{vertido}$  es el Nitrógeno a la salida  $\left(< 15 \frac{mg}{l}\right)$

Asumiendo un rendimiento algo menor que el proceso de nitrificación, en torno a 0,5-0,6, tendremos un total de:

$$N_{desnitrificación} = K \cdot N_{desnitrificación}^0 = 206,95 \frac{kgN}{día} \text{ ó } 31,29 \frac{mg}{l}$$

Finalmente calculamos la cesión de oxígeno como:

$$kg \frac{O_2}{día} = \frac{2,86 \cdot Q \cdot [N - NO_3]_{reducido}}{10^3} = 591$$

Donde:

$$Q: \text{Caudal diario } \frac{m^3}{día}$$

$$[N - NO_3]_{reducida}: \text{Concentración de nitratos reducida } \left(\frac{mg}{l}\right)$$

2,86: Coeficiente estequiométrico

### **Oxígeno total teórico**

$$O_{2 \text{ Teórico}} = O_{2 \text{ síntesis}} + O_{2 \text{ endógeno}} + O_{2 \text{ nitrificación}} - O_{2 \text{ desnitrificación}}$$

$$O_{2 \text{ Teórico}} = \frac{(1535,61 + 1734,24 + 1575,36 - 591) kg \frac{O_2}{día}}{24h} = 177,26 kg \frac{O_2}{hora}$$

### **Oxígeno punta**

Si se establece un factor punta de 1,8 (entre 1,5 y 2) para las reacciones de síntesis, nitrificación y desnitrificación tendremos un total de  $261,26 kg \frac{O_2}{hora}$

### **Oxígeno real**

Con las necesidades de oxígeno teóricas se prosigue a calcular las reales, teniendo en cuenta las condiciones del tanque de aireación.

Como condición básica se establece que la concentración de oxígeno será de 2 mg/l.

$$\text{El oxígeno real se calcula como: } kgO_{2real} = \frac{kgO_{teóricos}}{C_t}$$



Donde  $C_t$  se denomina coeficiente global de transferencia:

$$C_t = \left( \frac{S_1}{S_2 - S_3} \cdot K_t \cdot \frac{P_0}{P_a} \cdot \frac{1}{\alpha} \right)^{-1}$$

para:

$$S_1: \text{Saturación de oxígeno en agua pura a } 10^\circ\text{C} \rightarrow 11,33 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

$$S_2: \text{Saturación de oxígeno a la temperatura de la mezcla: } S_4 \cdot \beta \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right)$$

$$S_4: \text{Saturación del oxígeno en agua pura a } 15,5^\circ\text{C} = 10,37 \text{ mg/l}$$

$$\beta: \text{Factor característico del licor mezcla} = 0,95$$

$$S_3: \text{Saturación de oxígeno en la mezcla} = \frac{2\text{mg}}{\text{l}}$$

$$K_t: \text{Coeficiente de temperatura} = 0,83$$

$$P_0: \text{Presión atmosférica a nivel del mar} = 760\text{mmHg}$$

$$P_a: \text{Presión atmosférica a la altura de la instalación} = 710,60\text{mmHg}$$

$$\alpha: \text{Coeficiente corrector: } 0,9 \text{ rotores superficiales, } 0,6 \text{ difusores burbuja fina}$$

Finalmente:

$$C_{t \text{ rotor superficie}} = 0,628$$

$$C_{t \text{ difusión}} = 0,419$$

**Oxígeno por rotor de superficie:**

$$O_{2 \text{ Real medio}} = \frac{177,26 \text{ kg } \frac{O_2}{\text{hora}}}{0,628} = 282,3 \frac{\text{kg } O_2}{\text{hora}}$$

$$O_{2 \text{ Real punta}} = \frac{261,26 \text{ kg } \frac{O_2}{\text{hora}}}{0,628} = 415,81 \frac{\text{kg } O_2}{\text{hora}}$$

**Diseño instalación de aireación:**

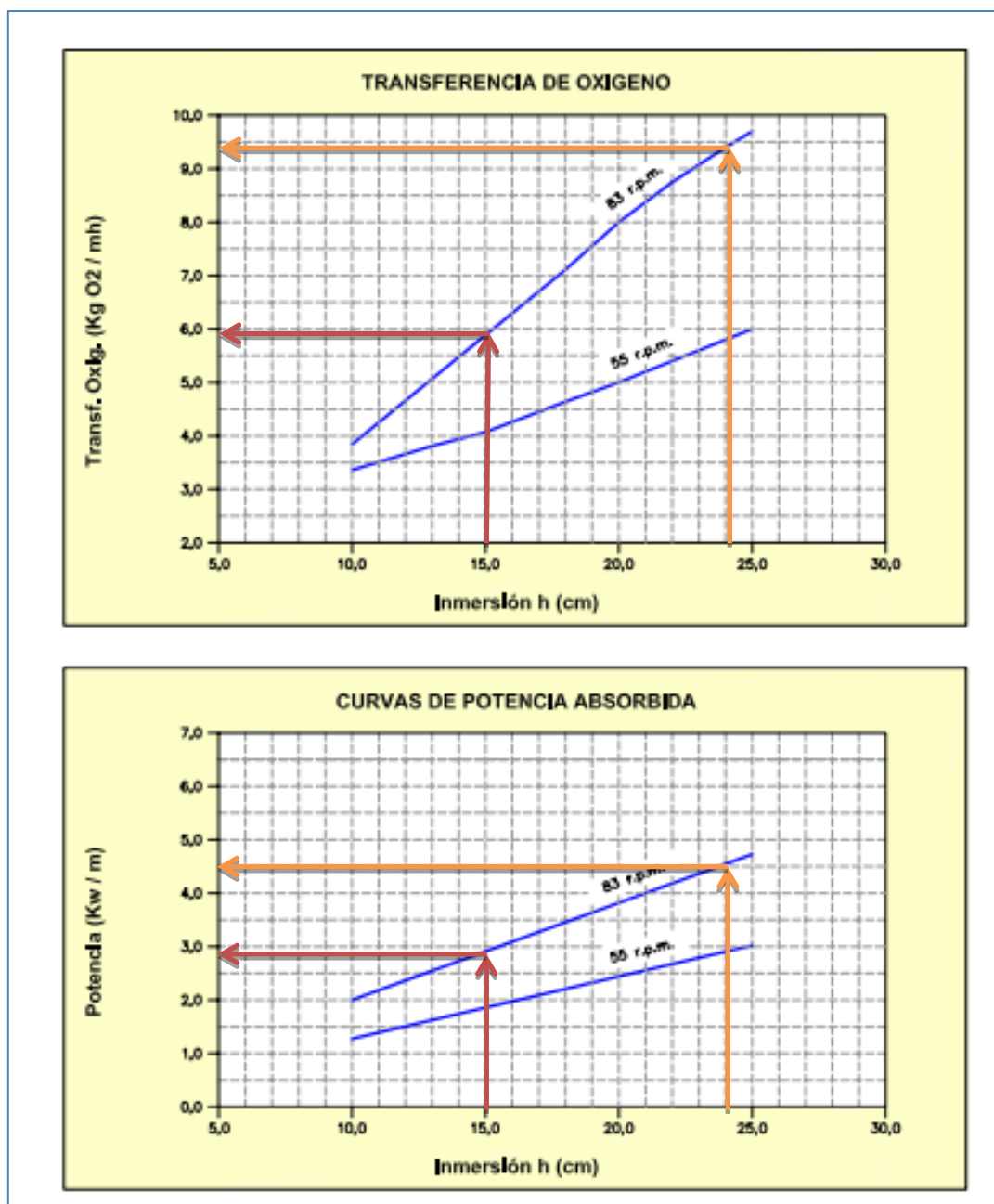


Figura 43. Datos técnicos rotor adoptado MR10 grupo DAGA



Tipo	L (m)	Velocidad Rotor (r.p.m.)	Potencia (CV)	Potencia (Kw)	Velocidad Motor (r.p.m.)	Inmersión Máx. (cm.)
MR10-600	6,00	83 (83/55)	40 (43/28,2)	30 (32/21)	1500 (1500/1000)	24
MR10-750	7,50	83 (83/55)	50 (48,3/32,2)	37 (36/24)	1500 (1500/1000)	24
MR10-900	9,00	83 (83/55)	60 (67/42,9)	45 (50/32)	1500 (1500/1000)	24

Figura 44. Datos técnicos rotor adoptado MR10-600 grupo DAGA

#### Necesidades medias:

En cuanto a las condiciones medias del sistema se adoptará una inmersión del rotor de aproximadamente 15 cm, tal como se refleja en la figura 34 se tendrá una tasa de oxígeno de  $5,9 \frac{kgO_2}{m \cdot h}$  y una potencia absorbida de 2,8 Kw. (-)

Teniendo en cuenta las 2 líneas que disponemos tendremos que colocar un total de 4 rotores por reactor haciendo un total de 8 rotores con una potencia instalada de 240 Kw.

Para las necesidades medias se aportará un total de:

$$O_{2 \text{ aportado}} = 5,9 \frac{kgO_2}{m \cdot h} \cdot 6 \frac{m}{aireador} \cdot 8 \text{ aireadores} = 283,2 \frac{kgO_2}{h}$$

La potencia total absorbida en estas condiciones será de  $2,8 \cdot 8 = 22,4$  Kw

#### Necesidades punta:

Se emplea en este caso condiciones más adversas con el aireador sumergido en una cota máxima de 24 cm. Bajo estas condiciones la tasa de oxígeno es de  $9,5 \frac{kgO_2}{m \cdot h}$  y una potencia absorbida de 4,5 Kw (-)

Teniendo en cuenta las 2 líneas que disponemos tendremos que colocar un total de 4 rotores por reactor haciendo un total de 8 rotores con una potencia instalada de 240 Kw.

La potencia total absorbida en estas condiciones será de  $4,5 \cdot 8 = 36$  Kw

Para las necesidades punta se aportará un total de:

$$O_2 \text{ aportado} = 9,5 \frac{kgO_2}{m \cdot h} \cdot 6 \frac{m}{aireador} \cdot 8 \text{ aireadores} = 456 \frac{kgO_2}{h}$$

Con estos cálculos se comprueba que las necesidades de oxígeno son satisfechas mediante el diseño adoptado.



Figura 45. Aireador Superficial MR10 grupo DAGA



Figura 46. Aireador Superficial MR10 grupo DAGA



### Aireación por difusión:

En este caso se abordan las necesidades de oxígeno mediante aireadores de difusión.

$$O_2 \text{ Real medio} = \frac{177,26 \text{ kg } \frac{O_2}{\text{hora}}}{0,419} = 426,05 \frac{\text{kg } O_2}{\text{hora}}$$

$$O_2 \text{ Real punta} = \frac{261,26 \text{ kg } \frac{O_2}{\text{hora}}}{0,419} = 623,53 \frac{\text{kg } O_2}{\text{hora}}$$

En el caso de la aireación por difusión se diseñara el sistema para las condiciones más adversas, esto es, caudal punta. Para ello se elige el modelo de membrana AFD350

Modelo	AFD 270	AFD 350
Caudal de diseño	2 - 5 Sm <sup>3</sup> /h/dif.	2,5 - 8,3 Sm <sup>3</sup> /h/dif.
Caudal punta	7 m <sup>3</sup> /h/dif.	11 m <sup>3</sup> /h/dif.
Densidad de difusores	2 - 24 %	2 - 24 %
Ranuras	6.600	10.155
Superficie unitaria	0,0375 m <sup>2</sup>	0,066 m <sup>2</sup>
Diámetro difusor	270 mm. / 9"	350 mm. / 12"
Conexión	NPT ¾ "/Encolado/QCS	NPT ¾ "/QCS
Temp. máx. del aire	100 °C	100 °C
SOTE	5 - 8 % x m	5 - 8 % x m

Figura 47: Datos técnicos del difusor AFD 350 de la empresa AIRFLEX

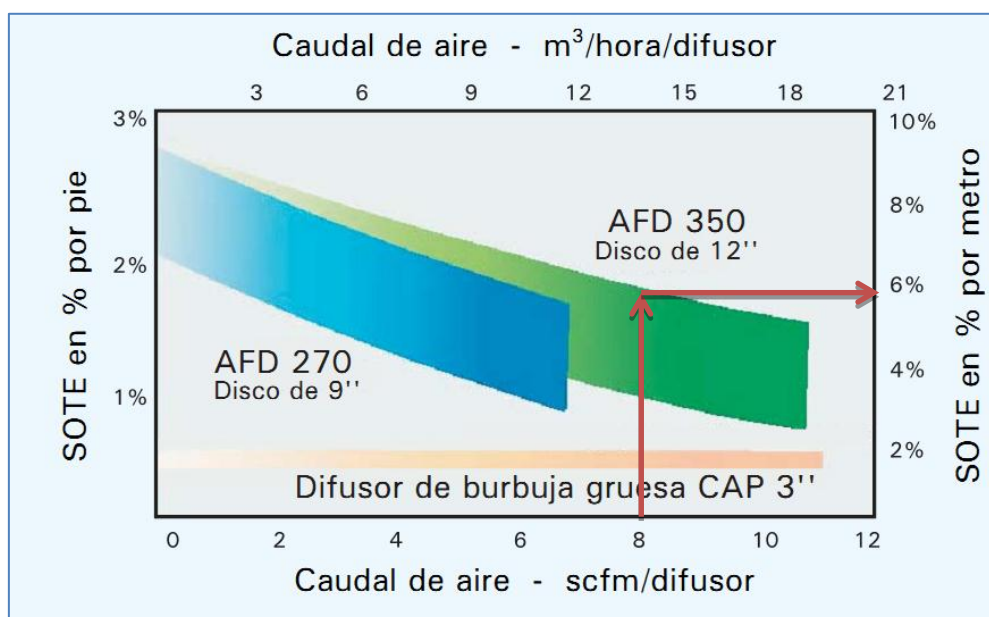


Figura 48: Curva de características del difusor AFD 350

Para el cálculo del caudal de aire necesario se empleará la siguiente fórmula:

$$Q_{aire} = \frac{O_{2\ real}}{\eta_{difusor} \cdot 0,239 \cdot 1,248}$$

Donde:

$O_{2\ real}$  es el caudal necesario previamente calculado

$\eta_{difusor}$  es el rendimiento del difusor  $= \frac{\eta_{difusor}}{m} \cdot h = 0,06 \cdot 5 = 0,3$  (Fig 48)

$$Q_{aire} = \frac{623,53}{0,3 \cdot 0,239 \cdot 1,248} = 6968,24 \frac{m^3}{h}$$

Una vez se ha calculado el caudal necesario se procede a calcular el número de difusores necesarios:

$$N_{difusores} = \frac{Q_{aire}}{Q_{difusor}} = \frac{6968,24}{8} = 872 \text{ difusores}$$

$$N_{difusores/cuba} = \frac{872 \text{ difusores}}{2} = 436 \text{ difusores}$$

Disposición de difusores en el tanque de aireación:

Teniendo en cuenta el diámetro de un difusor (0,35m) y la separación que ha de existir entre cada uno (0,5) se computa el mínimo número de difusores transversales.

$$N_t = \frac{A}{\phi + e} = \frac{8,25}{0,35 + 0,5} = 10 \text{ parrillas}$$

En total teniendo en cuenta que la longitud del tramo recto tendremos un total de 44 difusores por parrilla. Ello deja el espacio necesario para el proceso de eliminación de nitrógeno en condiciones anóxicas.



Figura 49: Difusor de burbuja fina AFD



Figura 50 : Disposición de difusores en cuba biológica (tesagua, depuradora de Arzúa)

Junto con la aireación se implementará un sistema supletorio de agitación por cada balsa, en este caso dos agitadores de doble hélice de baja velocidad. Concretamente el modelo elegido es el siguiente:

	<b>Agitador 4410</b>
<b>Potencia en el eje</b>	50 Hz, 2,3 kW
<b>Empuje nominal máximo</b>	50 Hz, 2,2 kN
<b>Diámetro de hélice</b>	1400 a 2500 mm



Figura 51 : Agitador lento flygt ITT industrias

Teniendo en cuenta los datos aportados se tendrá una potencia de agitación de:

$$P = \frac{\text{Potencia instalada}}{\text{Volumen cuba}} = \frac{2 \cdot 2300}{5029,12} = 0,91 \frac{w}{m^3}$$

Cálculo de potencia requerida por el equipo soplante:

$$Potencia = \frac{0,227 \cdot Q_{aire}}{1,04} \cdot \left[ \left( \frac{P_s}{P_e} \right)^{0,283} - 1 \right] \cdot K \cdot 0,735$$

Donde:

$$Q_{aire} = 6968,24 \frac{m^3}{h}$$

$$K \text{ (Factor de seguridad)} = 1,1$$

$$P_e = \text{Presión a la entrada} = 9,65 mca \text{ (Presión atmosférica)}$$

$$P_s = P_e + P_h = P_e + \rho gh = 9,65 + \left( \frac{9,8 \cdot 990 \cdot 5}{101350} \right) \cdot 10,33 = 4,94 + 9,65 = 14,6 mca$$

Finalmente la potencia total necesaria es de: 152,8 Kw



Figura 52 : Equipo soplante perteneciente a la EDAR de Alovera (Guadalajara)

#### **4.8 Diseño de la decantación secundaria:**

Teniendo en cuenta el caudal máximo y el medio de la planta se procede a calcular la superficie de los decantadores. Para ello es necesario conocer la velocidad ascensional o carga superficial. Para ello se emplearán los parámetros recomendados por el manual de diseño de aguas residuales expuestos en la siguiente tabla:

<b>Parámetros</b>	<b>Proceso Convencional y Contacto Estabilización</b>	<b>Aireación Prolongada</b>
Carga Superficial ( $m^3/m^2/h$ )	$Q_{med} < 0,8$ $Q_{máx} < 1,5$	$Q_{med} < 0,5$ $Q_{máx} < 0,9$
Carga sólidos a MLSS $> 2.500$ ppm ( $Kg/m^2/h$ )	$Q_{med} < 2,5$ $Q_{máx} < 4,5$	$Q_{med} < 1,8$ $Q_{máx} < 3,2$
Tiempo de retención hidráulica a $Q_{med}$ (h)	3	3-5
Q/ml de vertedero ( $m^3/h$ )	$Q_{med} < 12$ $Q_{máx} < 20$	
Calado cilíndrico (m)	$> 3$	

Figura 53: Datos típicos en el diseño del decantador secundario

$$\text{Área} = \frac{Q}{V_{asc}}$$

A carga media:

$$\text{Área} = \frac{Q}{V_{asc}} = \frac{Q_{medio}}{V_{asc}} = \frac{520}{0,5} = 1040 \text{ m}^2$$

A carga punta:

$$\text{Área} = \frac{Q}{V_{asc}} = \frac{Q_{punta}}{V_{asc}} = \frac{624}{0,9} = 693,33 \text{ m}^2$$

La superficie que se tomará para el diseño será entonces de  $1040 \text{ m}^2$ , con lo que se tendrá un diámetro por decantador de:

$$\phi(m) = \sqrt{\frac{4 \cdot 1040 \text{ m}^2}{\pi \cdot 2}} \cong 26$$



Teniendo en cuenta el valor del diámetro el decantador será de extracción central.  
A continuación se comprueba la carga de sólidos:

A media carga:

$$C_{sólidos} = \frac{X \cdot Q_{medio}}{A} = \frac{3,7 \frac{kg}{m^3} \cdot 520 \frac{m^3}{h}}{1040 m^2} = 1,85 \frac{kg}{m^2 \cdot h}$$

Atendiendo al valor obtenido, se redimensionará el diámetro del decantador para cumplir con los límites admisibles.

En este caso se tendrá un diámetro  $\phi$  de 26,5m

$$C_{sólidos} = \frac{X \cdot Q_{medio}}{A} = \frac{3,7 \frac{kg}{m^3} \cdot 520 \frac{m^3}{h}}{1103,1 m^2} = 1,74 \frac{kg}{m^2 \cdot h}$$

A carga punta:

$$C_{sólidos} = \frac{X \cdot Q_{punta}}{A} = \frac{3,7 \frac{kg}{m^3} \cdot 624 \frac{m^3}{h}}{1103,1 m^2} = 2,09 \frac{kg}{m^2 \cdot h}$$

Se comprueba que se cumplen los requisitos para carga de sólidos en condiciones medias y punta.

A continuación se selecciona el calado del decantador teniendo en cuenta las recomendaciones del manual.

Diámetro (m)	Calado (m)	
	Recomendado	Mínimo
< 12 m	3,30	3,00
12 - 21 m	3,60	3,30
21 - 30 m	3,90	3,60
30 - 42 m	4,20	3,90
> 42 m	4,50	4,20

Figura 54: Datos típicos en el diseño del decantador secundario



Teniendo en cuenta el valor del calado recomendado procedemos al cálculo del volumen total de la decantación secundaria.

$$V_{\text{decantación}} = C \cdot A = 3,9 \cdot 1103,1 = 4302,09 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{decantación/decantador}} = \frac{4302,09}{2} = 2151,05 \text{ m}^3$$

Finalmente calculamos la carga sobre vertedero para comprobar que el diseño se cumple:

A caudal medio:

$$C_{\text{vertedero}} = \frac{Q_{\text{medio}}}{\text{Perímetro}} = \frac{Q_{\text{medio}}}{2\pi \cdot \phi} = 3,12 \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{m}_p}$$

A caudal punta:

$$C_{\text{vertedero}} = \frac{Q_{\text{punta}}}{\text{Perímetro}} = \frac{Q_{\text{punta}}}{2\pi \cdot \phi} = 3,75 \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{m}_p}$$

Según lo explicado en la figura 53 los parámetros obtenidos concuerdan con los márgenes establecidos.

Datos decantador	Valores
Nº Líneas	2
Volumen Unitario	2151,5 m <sup>3</sup>
Superficie Unitaria	520 m <sup>2</sup>
Diámetro	26,5m
Calado	3,9 m
Tipo Decantador	Extracción Central



Figura 54: Decantadores secundarios



#### **4.9 Fangos recirculados:**

En el cálculo de las necesidades de recirculación se ha de tener en cuenta los siguientes datos:

$$IVF \text{ (Índice volumétrico de fangos máximo)} = 150 \frac{ml}{g}$$

$$X: \text{Concentración en el reactor} = 3,7 \frac{kg}{m^3}$$

$$Q_{med} = 520 \frac{m^3}{h}$$

Teniendo en cuenta esos valores se calcula el porcentaje teórico de recirculación:

$$\%_r = \frac{X \cdot IVF \cdot 10^{-1}}{1 - (X \cdot IVF \cdot 10^{-3})} = 124,72\%$$

$$Q_r = \%_r \cdot Q_m = 648,54 \frac{m^3}{h}$$

Sin embargo el porcentaje obtenido es menor al mínimo necesario para este tipo de procesos, con lo que se recalcula para éste. Según el manual de diseño de tratamiento de aguas industriales el mínimo ha de ser un 150%.

De esta forma:

$$Q_r = \%_r \cdot Q_m = 780 \frac{m^3}{h}$$

Y teniendo en cuenta el esquema de tratamiento por el cual:

$$(Q_r + Q_m) \cdot X = Q_r \cdot X_r \rightarrow X_r = \frac{(Q_r + Q_m) \cdot X}{Q_r}$$

$$X_r = 6,17 \frac{kg}{m^3}$$

Teniendo en cuenta que el decantador es de succión y los límites de este tipo de decantadores en fangos recirculados se sitúan entre 5 y  $8 \frac{kg}{m^3}$ , el diseño es correcto.

## **5 Problemas en una instalación de fangos activados:**

Fundamentalmente se analizarán los problemas presentes en los distintos sistemas anteriormente comentados.

### **5.1 Problemas en el sistema de aireación:**

#### **5.1.1 Problemas generales con aireación mecánica:**

En ocasiones los sistemas mecánicos pueden provocar una mezcla inadecuada dentro del reactor biológico. Los motivos suelen ser:

- Velocidad baja del aireador
- Profundidad inadecuada
- Impulsor impedido o atascado
- Subdimensionamiento del aireador

Para solucionar estos problemas se proponen las siguientes medidas:

- Aumentar la velocidad del aireador, si el aireador está operando en condiciones de baja velocidad
- Revisar el impulsor y limpiarlo de posibles elementos que impidan su correcto funcionamiento
- Cambiar el aireador por otro con unas características que se ajusten mejor al necesario para la instalación.

#### **5.1.2 Oleaje**

Este fenómeno ocurre cuando se implementan aireadores de tipo mecánico. Se debe fundamentalmente cuando la profundidad adoptada es menor que la recomendada. Ello provoca la sobrecarga del aireador y consecuentemente su mal funcionamiento. Este tipo de problemas se suelen dar en plantas con caudales bajos. Las soluciones adoptadas serían:

- Variar el efluente que llega al tanque de aireación para no sobrecargar el aireador.
- Sumergir más el aireador sin exceder el máximo recomendado por el fabricante.



- Emplear deflectores de flujo o alabes reductores.

### **5.1.3 Problemas en aireación por difusores**

Una mezcla no homogénea suele indicar difusores atascados o mal regulados. Aproximadamente cada 6 meses se ha de testear mediante un perfil de oxígeno disuelto, o si existe un cambio relevante en el flujo existente.

Las principales causas son:

- Tasa de aireación demasiado elevada para el difusor
- Falta de mantenimiento apropiado
- Mala alineación o colocación de los difusores en la cuba
- Válvulas mal ajustadas

Por lo general para solucionar estos problemas:

- Se ha de realizar un mantenimiento apropiado de los difusores, incluyendo limpieza de cabezales y orificios.
- Ajuste de válvulas para modificar la distribución de aire en la cuba
- Posicionamiento adecuado de los difusores en la cuba para homogeneización y aireación correcta de la mezcla. Si fuera necesario se podría añadir más.
- Control del equipo soplante y revisión del cumplimiento de las características que le son solicitadas.

## **5.2 Foaming o problemas con espumas:**

### **5.2.1 Espuma blanca y consistente:**

Suele presentarse con una edad de fango baja, en plantas con sobrecarga o plantas nuevas. Es un indicativo de una concentración de sólidos baja y una carga másica muy alta. Esta espuma surge dado que la masa bacteriana es incapaz de procesar ciertas proteínas.

Las causas principales de la aparición de esta espuma son:

- Mala recirculación de fangos



- Baja concentración de sólidos en el licor mezcla
- Presencia de sustancias tóxicas inhibidoras del proceso biológico
- Mal funcionamiento del decantador secundario, con una mala distribución de caudal o algún tipo de problema mecánico de funcionamiento

Las soluciones adoptadas son:

- Comprobar el correcto flujo del lodo en el proceso de recirculación
- Parar la eliminación de fangos el tiempo suficiente para aumentar la concentración de sólidos en el licor mezcla
- Control del sistema de válvulas
- Revisión de los sistemas de aireación ante la posible falta de oxígeno en algún punto
- En última instancia se podrían emplear barros de otra instalación cuyos parámetros de operación fueran similares y estuviera funcionando correctamente.

### **5.2.2 Espumas marrones**

Suelen aparecer en plantas trabajando con baja carga. Este tipo de espumas indican un lodo antiguo y suelen estar presentes en plantas donde se nitrifica.

Las causas principales de su aparición son:

- Baja carga másica
- Mala eliminación de fangos en exceso
- Excesiva aireación de barros

Como medidas para evitar este tipo de espumas:

- Incrementar la carga másica siempre que la nitrificación no sea necesaria
- Ajustar correctamente la corriente de fangos desechable

### 5.2.3 Espumas negras

Cuando aparecen este tipo de espumas suele existir una aireación insuficiente. Las soluciones son:

- Incrementar la aireación
- Disminuir la concentración de sólidos en el licor mezcla.



Figura 56: Problemas de espumas en tanque de aireación



### **5.3 Arrastre de sólidos:**

Se detecta cuando en el decantador secundario flotan sólidos homogéneos cerca del vertedero. Las principales causas de este fenómeno son:

- Sobrecarga hidráulica del sistema
- Concentración de sólidos demasiado elevada
- Mantenimiento inadecuado de los equipos

### **5.4 Bulking o abultamiento:**

Se debe por lo general a un incremento en la cantidad de bacterias filamentosas que provoca el abultamiento de lodos. Ello provoca que el fango consiga mayor volumen y existan problemas en la decantación secundaria.

Las principales causas de la aparición de bulking son:

- Carga másica baja que favorece el crecimiento de bacterias filamentosas como la Nocardia (que también provoca foaming).
- pH fuera de los límites de control
- Temperatura demasiado elevada
- Bajo contenido en nutrientes
- El caudal que llega a la planta tiene una gran concentración de filamentosas
- Baja DBO en la cuba
- La ausencia absoluta de organismos filamentosos
- Exceso de aireación de la cuba
- Presencia de tóxicos.

Las soluciones son:

- En el caso de que existan organismos filamentosos se ha de intentar revisar el sistema de aireación en busca de puntos con poca homogeneización.
- Ante la ausencia de filamentosas se ha de revisar el nivel de la carga másica existente. Asimismo puede darse el fenómeno de bulking



cuando en el tanque de aireación existe una turbulencia elevada generando una masa biológica demasiado pequeña.



Figura 56: Bulking por Nocardia

### **5.5 Turbidez en el efluente secundario:**

Cuando el efluente secundario es demasiado turbio se ha de analizar para conocer la capacidad de decantación del mismo.

Suele estar relacionado con la presencia de protozoos en el mismo.

#### **5.5.1 Protozoos inactivos**

Suele indicar que algún tipo de producto tóxico ha alcanzado el efluente. Por lo general se ha de mantener la instalación en funcionamiento y posteriormente averiguar de dónde procede el elemento tóxico

#### **5.5.2 Protozoos activos**

Si los protozoos son activos y su cantidad es adecuada, la turbidez suele ser debida a un exceso de turbulencia en la cuba de aireación





### **5.5.3 Concentración insuficiente de protozoos**

Por lo general cuando no hay suficientes protozoos pueden existir dos causas distintas:

- Carga másica elevada: En este caso se ha de incrementar la tasa de retorno para reducir la cantidad de fango en el decantador. Se puede probar también a reducir la tasa de purga de barros para aumentar la cantidad de sólidos.
- Carga másica baja: Puede darse por la presencia de algún tóxico en la instalación o bien una concentración de oxígeno inferior a la necesaria.

### **5.6 Ashing o problemas de cenizas:**

Los problemas de cenizas se dan cuando aparecen pequeñas partículas flotando en la superficie del decantador secundario.

Estas cenizas son una mezcla de células muertas, grasas y barro.

Sus causas son:

- Carga másica demasiado baja
- Elevada concentración de grasas en la mezcla que sale del tanque.



## **6 Mantenimiento del tratamiento secundario:**

Fundamentalmente se realizarán las siguientes operaciones:

### **6.1 Mantenimiento de tuberías:**

- Se ha de comprobar el **correcto funcionamiento** de las bombas de impulsión a través de las tuberías
- **Chequeo** regular del estado de las mismas (Roturas, Obstrucciones)
- **Limpieza de tuberías** (Ante obstrucciones)
  - Empleo de presión con aire o agua
  - Empleo de varillas limpiadoras

### **6.2 Mantenimiento en la cuba de aireación:**

- **Aireadores Superficiales:** Limpieza de cualquier elemento agarrado en la superficie del aireador, mediante el empleo de un garfio con el aireador parado. Frecuencia: Diaria
- **Difusores:** Inspección visual de una distribución uniforme del burbujeo en el tanque. Frecuencia: Diaria
- **Color Mezcla:** Si el color del licor mezcla adoptara aspecto de agua residual se revisarán las bombas de recirculación. Si el color de la mezcla fuera gris con mal olor se revisará el correcto funcionamiento del sistema de aireación. Frecuencia: Diaria
- En el caso de que aparecieran espumas el operario ha de apuntar el color y la consistencia de las mismas ante la posibilidad de aparición de foaming. Frecuencia: Diaria
- **Olores:** En el caso de la aparición de olores fuertes fuera de lo normal el operario deberá avisar al control de planta, ante el posible malfuncionamiento del proceso. Frecuencia diaria.
- **Limpieza:** Las zonas próximas al tanque de aireación se han de limpiar semanalmente especialmente si se ha producido algún episodio de foaming.
- **Filtros:** Se encargan de retener el polvo y la suciedad del aire antes de comprimirlo y enviarlo al tanque de aireación.



- **Compresores:** Comprobar las válvulas de aspiración y descarga abriéndolas y cerrándolas.

### **6.3 Mantenimiento de Bombas:**

- Se ha de comprobar la correcta lubricación y alineación de todos los elementos. Los valores ideales de presión en aspiración y descarga se vigilarán durante todo el proceso.
- Se accionará el modo manual de la bomba y se comprobará el bombeo a la arqueta de carga del decantador primario. Una vez comprobado el funcionamiento, la bomba se volverá a colocar en modo automático.  
Frecuencia: Diaria
- Comprobación en todo momento de estanqueidad y de la correcta limpieza de todos los elementos.
- Se activarán los equipos de reserva para comprobar su correcto funcionamiento de manera periódica.
- Se vigilará en todo momento que las intensidades, potencias y tensiones son las correctas así como la temperatura de trabajo es óptima.  
Frecuencia: Diaria.

### **6.4 Decantador Secundario:**

- **Aspecto:** Se ha de comprobar tanto el color del agua, la existencia de flotantes y elementos como grasas o fangos en la superficie. Frecuencia Diaria
- **Olores:** Al igual que en la cuba de aireación cualquier olor fuera de lo normal puede indicar un malfuncionamiento del proceso. Frecuencia: Diaria
- **Limpieza del canal de salida y los deflectores:** Para ello se empleará un equipo de agua a presión. Esta operación se realizará al menos 3 veces por semana.



- **Comprobación del nivel de fangos:** Se realizará una parada al menos una vez por semana para medir el nivel de fangos presentes en el decantador y comprobar que su proporción es correcta.
- **Observación:** Ruidos, pérdidas y sistemas eléctricos, variaciones de presión y colocación adecuada de las barreras de seguridad. Frecuencia diaria.
- **Otras operaciones:** Revisión de ruedas y ejes, engrasado de rodamientos, nivel de aceite en reductores, comprobación de intensidades, potencias y tensiones.

### **6.5 Operaciones Generales:**

- Limpieza de equipos
- Correcto funcionamiento de alimentación
- Comprobación de la programación correspondiente al tratamiento
- Operaciones de mantenimiento de obra civil que así lo requieran (barandillas, puentes, aceras....)

### **6.6 Personal de mantenimiento asociado y funciones:**

- **Jefe de mantenimiento:**
  - Elaboración del plan de actividades anuales en base a los diferentes requerimientos de la maquinaria instalada y el uso de la instalación, para el mantenimiento interno y externo.
  - Elaboración del fichero de equipos donde conste: Nombre de equipo, número de serie, fecha de actividad, definición de la actividad y tiempo empleado.
  - Elaboración del plan de engrasado para cada equipo.
  - Control de los distintos servicios externos contratados tales como servicios de informática
  - Realización de informes estadísticos de averías, costes asociados, tiempo empleado por el personal...



- Supervisión de tal manera que todas las operaciones se hagan siguiendo todas las medidas de seguridad y protocolos adecuados.
- Control y supervisión de repuestos (evitando en todo momento rotura de stock) y supervisión de tareas de mantenimiento general (edificios, jardinería).
- **Oficial de mantenimiento:**
  - Desarrollo manual de las operaciones de mantenimiento en diferentes áreas de especialización tales como eléctrica, mecánica, albañilería...
  - Las actividades que realizarán dependerá de su especialidad, aunque serán supervisados por el jefe de mantenimiento para asegurar siempre el correcto funcionamiento y mantenimiento de la estación.

## 7 Riesgos laborales en el tratamiento secundario:

### 7.1 Riesgos de carácter biológico:

El riesgo biológico de las aguas residuales proviene principalmente del conjunto de agentes patógenos transportados en las mismas cuya naturaleza depende fundamentalmente de las condiciones climáticas, el nivel de higiene y las enfermedades endémicas del lugar.

El riesgo de contaminación biológica dependerá fundamentalmente de qué microorganismo está presente en el agua así como la capacidad de conservación de su poder infeccioso. Los agentes más comunes son:

BACTERIAS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klebsiellae pneumoniae</li> <li>• Escherichia coli</li> <li>• Salmonella spp</li> <li>• Shigella spp</li> <li>• Vibrio cholerae</li> <li>• Mycobacterium tuberculosis</li> <li>• Bacillus anthracis</li> <li>• Actinomyces</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leptospira interrogans</li> <li>• Legionella spp</li> <li>• Yersinia enterocolitica</li> <li>• Pseudomonas aeruginosa</li> <li>• Clostridium tetani</li> <li>• Clostridium perfringens</li> <li>• Clostridium botulinum</li> </ul>
VIRUS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Influenzavirus</li> <li>• Enterovirus:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Coxsackie A y B</li> <li>○ Echovirus</li> <li>○ Poliovirus</li> </ul> </li> <li>• Virus de la hepatitis A</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rotavirus</li> <li>• Adenovirus</li> <li>• Reovirus</li> <li>• Parvovirus</li> <li>• Coranovirus</li> </ul>
HONGOS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Candida albicans</li> <li>• Cryptococcus neoformans</li> <li>• Aspergillus spp</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trichophyton spp</li> <li>• Epidermophyton spp</li> </ul>
PARÁSITOS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Protozoos</li> <li>○ Entamoeba histolytica</li> <li>○ Giardia lamblia</li> <li>○ Balantidium coli</li> <li>○ Fasciola hepatica</li> <li>○ Taenia saginata</li> <li>○ Taenia solium</li> <li>○ Hymenolepis nana</li> <li>○ Toxoplasma gondii</li> <li>○ Echinococcus spp</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Ascaris lumbricoide</li> <li>○ Helmintos</li> <li>○ Ankylostoma duodenale</li> <li>○ Anguillula intestinalis</li> <li>○ Toxocara canis</li> <li>○ Toxocara cati</li> <li>○ Trichiuris trichiura</li> </ul>

Figura 57: Riesgos de carácter biológico (NTP 473)



**Vías de contaminación:** La presencia de los citados agentes patógenos no significa que exista un riesgo de infección para la persona en contacto con el medio. Además una infección no es sinónimo de enfermedad, dado que existen portadores sanos que no presentan síntomas pero si pueden propagar el agente. Las vías de contaminación por vía digestiva o por vía cutáneomucosa es posible a lo largo de toda la cadena de tratamiento de agua, mientras que la vía respiratoria es mayor en las zonas de generación de aerosoles, cerca de los sistemas de aireación, saltos de agua y zonas de impacto de efluentes y lodos.

- I. ***Vía cutánea-mucosa:*** La entrada al organismo se produce por contacto directo con el foco, a través de heridas, de la dermis o de salpicaduras en los ojos.
- II. ***Vía Respiratoria:*** La contaminación respiratoria está provocada fundamentalmente por los aerosoles producidos en los sistemas de aireación de fangos. Para producir una contaminación efectiva se ha de cumplir:
  - a. Poseer un tamaño comprendido entre 1 y 30  $\mu\text{m}$  de diámetro.
  - b. Viabilidad de los gérmenes en los aerosoles (las formas no encapsuladas o no esporuladas son las más frágiles).
  - c. Características propias de los gérmenes (p.e., los parásitos, por su tamaño, no pueden ser transportados por las microgotas del aerosol).
  - d. Diámetro de las microgotas: las que tienen un diámetro  $<3 \mu\text{m}$ , no pueden alcanzar los alvéolos pulmonares; las de diámetro  $>3 \mu\text{m}$ , son captadas por el epitelio ciliado, evacuadas hacia la región aerodigestiva siendo después deglutidas.
  - e. Las condiciones meteorológicas locales, tales como la temperatura ambiente, la humedad, la velocidad y





dirección del viento, así como la insolación intervienen en la difusión del aerosol.

- III. **Vía Digestiva:** Suele producirse a través de las manos, directamente (manos llevadas a la boca) o indirectamente (alimentos), aunque también debido a caídas accidentales en las balsas o proyecciones. En este caso las patologías presentadas suelen ser leves tales como náuseas, diarreas y vómitos.

**Medidas Preventivas:** Ante todo el personal ha de estar formado e informado de los peligros de una posible contaminación y de todos los medios existentes que se pueden emplear para evitarla:

- I. **Medidas generales de higiene:** Las medidas de higiene personal, el empleo de ropa de trabajo adecuada y la protección individual deben de ser respetadas. Estará prohibido comer, beber o fumar durante el trabajo, siendo indispensable un lavado de manos a conciencia y un cepillado de las uñas antes de las comidas, así como una ducha después del trabajo. También es fundamental tanto la limpieza como el mantenimiento de los locales y de las instalaciones.
- II. **Medidas de protección:** Se definirán las reglas de utilización de los equipos de protección individual y especialmente los de protección respiratoria, prestando especial atención a la gestión de los mismos. El uso correcto de guantes es indispensable, asegurando su impermeabilidad y evitando que se manche el interior de los mismos. Es necesario usar botas impermeables y adecuadas. La limpieza y la desinfección de las botas, guantes y ropa debe de ser meticulosa.
- III. **Vacunación como herramienta preventiva:** Las vacunaciones recomendadas para operarios de EDARUS son:  
**Gripe, Difteria, Poliomelitis y tétanos.**

## 7.2 Riesgos específicos en las instalaciones:

En general el número de accidentes graves es bajo, pero los producidos son de consecuencias importantes.

Fundamentalmente se producen caídas (23%) y cortes con herramientas (22%). En menor medida contactos con sustancias corrosivas (8%) y proyecciones y caídas de objetos en tareas de mantenimiento (7% y 6%) respectivamente.

### ■ Riesgos de Caída:

SITUACION	CAUSAS DEL RIESGO	RECOMENDACIONES PREVENTIVAS
Existencia de escaleras y zonas de paso junto a los grandes tornillos elevadores del agua.	Carencia de protecciones que permiten la caída al interior.	Establecer una separación física, mediante muretes de obra o la colocación de barandillas reglamentarias.
En las balsas de aireación y en las de dilución de productos químicos se crean turbulencias, mediante la instalación de agitadores, cuyos motores de accionamiento frecuentemente se sitúan en las pasarelas y plataformas interfiriendo el paso.	Inexistencia de protecciones que permiten la caída al interior de las balsas durante los desplazamientos o la manipulación de elementos de la instalación (compuestas, elementos de accionamiento, etc.) (Foto 1).	Las pasarelas, plataformas, escaleras, etc. que discurren junto a elementos en movimiento, deben disponer de muretes de obra o barandillas reglamentarias (90 cm. de altura, rodapié y travesaño intermedio y 150 kg./m.l. de resistencia), que impidan la caída al interior o el contacto con los elementos en movimiento. Las zonas de circulación deben estar libres de elementos que dificulten el paso. Es recomendable que el espacio libre no sea inferior a 50 cm.
En los tanques de sedimentación deben realizarse trabajos de limpieza de las adherencias y eventualmente retirar elementos extraños (trapos, plásticos, etc.) que pueden obstruir los canales o conductos superficiales de recogida de grasas y espumas y de entrada y salida de agua.	Es una operación generalmente manual que se realiza con un elemento rascante (cepillo o similar) con brazo largo y con el operario montado sobre la pasarela móvil del tanque o desplazándose a pie sobre la pista de rodadura de la pasarela (Foto 2)	Los útiles de limpieza deben ser adecuados y con brazo de suficiente longitud para que el operario pueda manejarlos adecuadamente desde la pasarela, sin necesidad de colocarse en posiciones forzadas en el estribo de la pasarela. La pasarela debe disponer de barandilla reglamentaria a ambos lados. Cuando sea imprescindible que el operario se desplace sobre la pista de rodadura; la pasarela debe estar inmovilizada y debe existir un segundo operario para ayuda en caso de emergencia. Se recomienda disponer de flotadores salvavidas para auxiliar a quien ocasionalmente pudiera caer en los tanques o balsas.
Acceso y desplazamiento por el fondo de las balsas de aireación para realizar trabajos de mantenimiento y limpieza.	Existencia de difusores de aire y de una capa de fangos y agua que dificultan el desplazamiento.	Antes del acceso del personal al fondo, debe procederse al vaciado hasta lo máximo posible de la balsa, a fin de reducir al mínimo el espesor de los fangos y aguas, que dificultan el desplazamiento y propician las caídas. El acceso al interior debe realizarse a través de escaleras adecuadas y utilizando cinturón de seguridad firmemente sujeto por otro operario que también cuidará de "dar cuerda" a medida que se precise. Al objeto de evitar que el personal se vea expuesto a olores muy desagradables, mientras efectúan los trabajos es recomendable la utilización de equipos individuales respiratorios con aporte de aire exterior. Para realizar estos trabajos se dotará al personal de ropa de trabajo adecuada, que como mínimo será: botas de agua altas y pantalones y chaqueta impermeables.



■ **Riesgo de contacto con sustancias corrosivas:**

SITUACION	CAUSAS DEL RIESGO	RECOMENDACIONES PREVENTIVAS
Explosiones en el apagador de cal con proyección de lechada a elevadas temperaturas. Fugas y derrames de óxido de cal en el curso de su manipulación. Derrames y salpicaduras de ácido sulfúrico u otros productos corrosivos.	Contacto y proyección de productos corrosivos sobre la piel y los ojos	El apagador de cal debe disponer, además de la tapa de registro, de un sistema de chimenea de sección suficientemente grande para que no se formen obstrucciones y de longitud y disposición adecuada para que en el supuesto de que se formen, las salpicaduras no alcancen a los operarios situados en el entorno. Instalación de duchas de emergencia en la proximidad de las instalaciones de tratamiento o de manipulación. Utilizar envases adecuados, protegidos y debidamente señalizados. Para realizar operaciones de trasvase a los dosificadores, debe disponerse de medios seguros para la manipulación de los recipientes. Utilizar obligatoriamente las prendas de protección personal (guantes, calzado, protectores oculares, mascarillas, etc.).

■ **Riesgos de intoxicaciones:**

SITUACION	CAUSAS DEL RIESGO	RECOMENDACIONES PREVENTIVAS
Por cloro: Instalaciones de almacenamiento y dosificación del cloro.	Deficiencias en las condiciones de almacenamiento, manipulación y regulación de las instalaciones dosificadoras.	Las botellas, depósitos e instalaciones de cloro no deben estar a la intemperie. Los locales en los que se almacenan o sitúan deben ser resistentes al fuego, estar exentos de humedad y bien ventilados, reuniendo condiciones para que no se alcancen temperaturas superiores a 50°C. En ningún caso se ubicarán en sótanos, patios interiores o lugares profundos. Estará a más de 5 m. de vías públicas, viviendas o de productos inflamables. Las botellas deben mantenerse sujetas en posición vertical con las llaves de paso hacia arriba y el capuchón protector colocado, siempre que sea posible. Los tanques horizontales deben mantenerse inmovilizados mediante calzos u otros sistemas. La manipulación de los recipientes debe hacerse sin brusquedades ni golpes, utilizando puentes grúa para los tanques; y al igual que la vigilancia y mantenimiento de las instalaciones, siguiendo de forma estricta las instrucciones del suministrador del cloro, y por personal responsable e instruido convenientemente para actuaciones de emergencia (Foto 3). Debe instalarse dispositivos para prevenir la posibilidad de reabsorciones a los recipientes. Igualmente se considera necesario el disponer de un equipo de detección continua de fugas de cloro. Este detector debe estar conectado a un sistema automático de aspiración y neutralización del cloro, tipo "scrubber" (Foto 4). La instalación eléctrica de los locales debe ser de seguridad aumentada, con los interruptores y maniobras en el exterior del local, para evitar la corrosión. En caso de fugas de cloro debe disponerse de máscaras con cartucho filtrante y preferentemente máscaras autónomas alimentadas por botellas de oxígeno o aire comprimido. En cualquier caso debe utilizarse protección ocular integrada en las máscaras o bien a través de gafas o pantallas bien ajustadas a la cara.
Por otros gases: Trabajos diversos en el interior de fosos y redes de alcantarillado.	Desprendimientos súbitos, en redes de alcantarillado, con especial peligro por vertidos de residuos industriales ajenos e incontrolados.	Verificar y controlar la atmósfera respirable en los puntos de trabajo potencialmente conflictivos. Utilización de equipos de respiración autónoma en las zonas de posible riesgo.



#### **IV. Riesgo Eléctrico:**

El riesgo eléctrico en el tratamiento secundario se debe fundamentalmente a los diferentes motores tanto de bombas como compresores. Por otro lado también existirá riesgo eléctrico en el instrumental de laboratorio asociado a la comprobación de muestras y al empleo de cierto aparataje para el correcto mantenimiento de la instalación.

Como medidas preventivas se adaptarán:

- a. Localización de todos los riesgos de carácter eléctrico asociación de un método de prevención.
- b. Determinación si ese riesgo ocurre por contacto directo o indirecto.
- c. Empleo del equipo de protección individual asociado.
- d. Señalización adecuada de la zona y los riesgos presentes.

#### **V. Riesgo de incendio:**

El riesgo de incendio se debe fundamentalmente a la presencia de materiales combustibles (gases, disolventes). Como medidas preventivas se tendrán:

- a. Control de combustible y focos de ignición
- b. Mantenimiento del orden y la limpieza en las áreas de producción y almacenes
- c. Desconexión de todos los equipos eléctricos tras su uso.
- d. Colocación y mantenimiento adecuado de todos los extintores de la planta.
- e. Señalización adecuada sobre productos peligrosos y prohibición absoluta de fumar en todo el área.

### **7.3 Equipos de protección individual necesarios:**

Sistemas anticaída en ascensos y descensos verticales:

**EN: 341, 353, 354, 355, 360 a 365**



Cascos para evitar caídas de objetos en la cabeza,



**EN: 397, 397 A1**

Protectores auditivos para proteger del ruido



**EN: 352-1/2/3/4, 358**

Guantes para evitar golpes, cortes, contactos con productos químicos y vibraciones.



**EN: 374-1/2/3, 388, 420**

Calzado para evitar el agua, golpes, perforación de suela y deslizamientos.



**EN: 344, 345, 346, 347**

Vestuario para evitar el agua, ahogamientos y equipo para salvamento mediante izado (arneses, lazos y cuerdas)



**EN: 340, 393, 394, 395, 396, 399, 471, 1496, 1497, 1498, UNE-ENV 343 y UNE CR 13033**

Gafas y pantallas faciales para evitar proyecciones y salpicaduras de agua así como proyecciones de partículas.



**UNE: 165, 166, 1731, 1731/A1, UNE-CR 13464**



## **8. Bibliografía:**

- Metcalf & Eddy; “Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización”; Ed. Mc. Graw-Hill (1998)
- Mackenzie L. Davis; “Water and wastewater engineering: Design principles and practice”; Ed. Mc. Graw.Hill (2010)
- Salas Rodríguez, Pidre Bocado, Cuenca Fernández; “Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales” Centa (2006)
- Alianza por el agua; “Manual de depuración de aguas residuales urbanas”; Ed. Ideasmares (2008).
- Aurelio Hernández; “Manual de depuración URALITA”; Thompson – Paraninfo (2004).
- Javier Naning; “Sedimentación secundaria en sistemas de lodos activos”; Akros ingeniería (2003)
- Enrique Toro; “Diseño general de un tratamiento”; Master en ingeniería de aguas; Disponible en World Wide Web:  
[http://prueba2.aguapedia.org/master/ponencias/pdf/disenio\\_tratamiento.pdf](http://prueba2.aguapedia.org/master/ponencias/pdf/disenio_tratamiento.pdf)  
[Fecha última consulta 25-04-12]
- José Antonio Perales; “Procesos biológicos de cultivo en suspensión aerobio”; Universidad de Cádiz; Disponible en World Wide Web:  
[http://gdeh.fct.unl.pt/Semin\\_FDB\\_PAg/Doc\\_FDB/Activated\\_Sludge.pdf](http://gdeh.fct.unl.pt/Semin_FDB_PAg/Doc_FDB/Activated_Sludge.pdf)  
[Fecha última consulta 02-07-11]
- Carlos L. Menéndez Gutiérrez y Jesús García; “Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales” Ed. Universitaria (2007).
- Esteban Villarroel Cantillana; “Riesgo ocupacional en plantas de tratamiento de efluentes líquidos”; Universidad de Santiago de Chile (2010); Disponible en World Wide Web:  
<http://fiso-web.org/imagenes/publicaciones/archivos/3185.pdf>  
[Fecha última consulta 02-07-12]



- Asepeyo; “Estudio EDAR: Guía de buenas prácticas preventivas en estaciones depuradoras de aguas residuales”; Dirección de Seguridad e higiene, Asepeyo (2009). Disponible en World Wide Web:  
[http://www.asepeyo.es/apr/apr0301.nsf/ficheros/HAQ0905035%20Monografia%20EDAR%20completa.pdf/\\$file/HAQ0905035%20Monografia%20EDAR%20completa.pdf](http://www.asepeyo.es/apr/apr0301.nsf/ficheros/HAQ0905035%20Monografia%20EDAR%20completa.pdf/$file/HAQ0905035%20Monografia%20EDAR%20completa.pdf)  
[Fecha última consulta 19-07-12]
- María Florencia Carlini; “Problemas operacionales en plantas de tratamiento”; Universidad Pontificia Católica de Argentina (2003)  
Disponible en World Wide Web:  
[http://puntoambiental.com/informes/problemas\\_operacionales\\_en\\_plantas\\_de\\_tratamiento.pdf](http://puntoambiental.com/informes/problemas_operacionales_en_plantas_de_tratamiento.pdf)  
[Fecha última consulta 21-07-11]
- José María Quiroga; “Operación de diferentes tipos de unidades de tratamiento biológico”; Curso de gestión y mantenimiento de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas, Universidad de Zaragoza (2009)  
Disponible en World Wide Web  
[http://catedramln.unizar.es/files/conferencias/edar09/edar09\\_11\\_JM\\_Quiroga.pdf](http://catedramln.unizar.es/files/conferencias/edar09/edar09_11_JM_Quiroga.pdf)  
[Fecha última consulta 20-07-12]
- Grupo TAR (Universidad de Sevilla); “Diseño de tratamiento de aguas residuales”; Disponible en World Wide Web:  
<http://prueba2.aguapedia.org/master/ponencias/modulo5/documentacion.pdf>  
[Fecha última consulta 11-07-11].
- Instituto de seguridad, higiene y trabajo; “NTP 128: Estaciones depuradoras de aguas residuales. Riesgos específicos. Disponible en World Wide Web:  
[http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp\\_128.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp_128.pdf)  
[Fecha última consulta 19-07-12]
- Instituto de seguridad, higiene y trabajo; “NTP 473: Estaciones depuradoras de aguas residuales: riesgo biológico”. Disponible en World Wide Web:  
[http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp\\_473.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/401a500/ntp_473.pdf)  
[Fecha última consulta 19-07-12]